



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ Offenlegungsschrift  
⑩ DE 195 47 642 A 1

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
H 01 L 21/308  
H 01 L 49/00  
G 01 P 15/125

②1 Aktenzeichen: 195 47 642.5  
②2 Anmeldetag: 20. 12. 95  
④3 Offenlegungstag: 27. 6. 96

DE 195 47 642 A 1

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1

20.12.94 JP P 6-317191 12.05.95 JP P 7-137413  
28.09.95 JP P 7-273755

⑦1 Anmelder:

Zexel Corp., Tokio/Tokyo, JP

⑦4 Vertreter:

Patentanwälte Gesthuysen, von Rohr, Weidener,  
45128 Essen

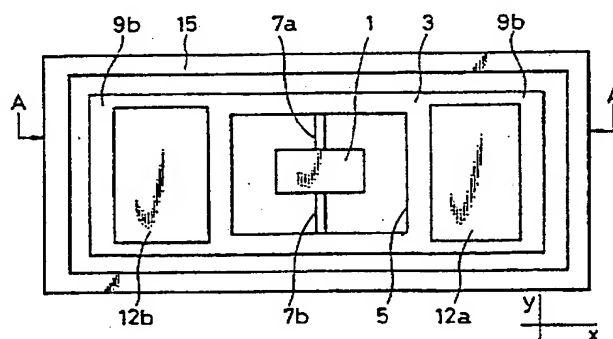
⑦2 Erfinder:

Mizuno, Jun, Tokio/Tokyo, JP; Nottmeyer, Kay,  
Tokio/Tokyo, JP; Esashi, Masayoshi, Tokio/Tokyo,  
JP

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Beschleunigungssensor und Verfahren zu dessen Herstellung

⑤7 Bei dem Beschleunigungssensor sind Torsions-Lagerarme (7a, b) an den einander gegenüberliegenden Außenseiten einer mittigen feststehenden Platte (1) fest angebracht, insbesondere gebondet. Die freien Enden der Torsions-Lagerarme (7a, b) sind mittig an den Innenseiten eines Fensters (5) in einem rahmenartigen plattenartigen Gewicht (3) fest angebracht, insbesondere gebondet. Elektroden (11a, b; 12a, b) sind an vorderen und hinteren Außenflächen von Gewichtsabschnitten (9a, b) des Gewichts (3) fest angebracht. Ein aus einer Oberplatte (17) und einer Unterplatte (19) bestehendes Außengehäuse (21) umgibt diese Anordnung und trägt Elektroden (23a, b; 25a, b), die korrespondierend zu den Elektroden (11a, b; 12a, b) am Gewicht (3) angeordnet sind. Die Platten (17, 19) werden durch einen umlaufenden Außenrahmen (15) zu einem geschlossenen Außengehäuse ergänzt und sind mit dem Außenrahmen (15) zu diesem Zwecke fest verbunden. Die mittige feststehende Platte (1) wird von den Platten (17, 19) fest getragen. Das Gewicht (3) bewegt sich unter Einfluß von Beschleunigungen relativ zum Außengehäuse (21) gegenüber der Platte (1). Dabei werden die Torsions-Lagerarme (7a, b) auf Torsion und/oder Biegung beansprucht. Die Länge der Torsions-Lagerarme (7a, b) kann man nach dem erfindungsgemäßen System länger machen als im Stand der Technik, was die Empfindlichkeit des Sensors erhöht. Die Elektroden kann man nach dem erfindungsgemäßen Verfahren in einem einzigen Druckdurchgang (gedruckte ...



DE 195 47 642 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 04. 98 802 026/983

59/27

## Beschreibung

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Beschleunigungssensor wie er in sich bewegenden Objekten wie Kraftfahrzeugen od. dgl. verwendet wird. Besonders betrifft die Erfindung einen Beschleunigungssensor, der die lineare Beschleunigung eines sich bewegenden Objekts erfaßt, und zwar basierend auf Veränderungen der Kapazität eines Kondensators, der an dem sich bewegenden Körper angebracht ist. Die Erfindung bezieht sich auch auf einen mehrachsigen Beschleunigungssensor, der die lineare Beschleunigung eines sich bewegenden Objekts in einer Mehrzahl von Richtungen erfassen kann, sowie auch die Winkelgeschwindigkeit des sich bewegenden Objekts. Gegenstand der Erfindung ist auch ein Verfahren zur Herstellung solcher Beschleunigungssensoren.

In jüngerer Zeit werden die Sicherheit und der Komfort beim Fahren von Kraftfahrzeugen weiter und weiter verbessert, wozu verschiedene Regelungssysteme eingeführt worden sind, beispielsweise aktive Radaufhängungen, Airbagsysteme, ABS-Systeme und dergleichen. Eine unverzichtbare Information für derartige Systeme stellen die lineare Beschleunigung und die Winkelgeschwindigkeit von Kraftfahrzeugen dar. Diese Meßgrößen werden durch Beschleunigungssensoren erfaßt, die an passenden Stellen der Kraftfahrzeuge angebracht werden.

Ein bekannter Beschleunigungssensor (JP-A 4-252.961) ist als kapazitiv arbeitender Beschleunigungssensor ausgeführt und besteht aus einem Gewicht und einem dem Gewicht gegenüber angeordneten plattenartigen Element. Im Betrieb werden Änderungen in der Kapazität des so gebildeten Kondensators errechnet, um so sowohl eine Winkelbeschleunigung als auch eine lineare Beschleunigung des Kraftfahrzeugzeugs festzustellen. In dieser Vorveröffentlichung wird also ein Beschleunigungssensor offenbart, bei dem ein Gewicht bezüglich einer X-Achse oder einer Y-Achse verlagert werden kann. Weiter wird ein Beschleunigungssensor offenbart, bei dem ein Gewicht bezüglich sowohl einer X-Achse als auch einer Y-Achse verlagert werden kann.

Von den zuvor erläuterten Beschleunigungssensoren ist ersterer aus einem flachen, rechteckigen Gewicht und einem rahmenartigen Plattenelement (plattenartiges Element) aufgebaut. Das flache rechteckige Gewicht hat das Zentrum oder den Mittelpunkt jeder seiner einander gegenüberliegenden Längsseiten durch das rahmenartige Plattenelement gelagert, und zwar mittels eines Lagerarms. Das Gewicht ist etwas dünner als das plattenartige Element, der Lagerarm unterstützt und trägt das Gewicht in axialer Richtung symmetrisch, jedoch so, daß das Gewicht um seinen Mittelpunkt bzw. seine Mittelachse in einem begrenzten Maße schwenken kann. Sowohl auf der Vorderseite als auch auf der Rückseite des Gewichts befindet sich jeweils ein Paar feststehender Elektroden. Die feststehenden Elektroden sind voneinander in bestimmten Abständen beabstandet. Sowohl auf der Vorderseite als auch auf der Rückseite des rahmenartigen Plattenelements befindet sich eine Glasplatte. An der Innenseite der Glasplatte finden sich weitere feststehende Elektroden, deren Position der Position der zuvor erläuterten feststehenden Elektroden am Gewicht entsprechen. Insgesamt sind so vier Kondensatoren durch diese feststehenden Elektroden, die einander gegenüberstehend angeordnet sind, gebildet. Wird im Betrieb das Gewicht um die X-Achse oder die Y-Achse verlagert (geschwenkt), so verändern sich die Kapazitäten der so gebildeten Kondensatoren (aufgrund der Veränderung der Relativlage der Kondensator-Elektroden). Diese Änderungen in den Kapazitäten der Kondensatoren werden berechnet, um daraus dann letztlich die Winkelbeschleunigung und die lineare Beschleunigung des sich bewegenden Objekts zu ermitteln.

Bei dem zuvor an zweiter Stelle genannten Beschleunigungssensor ist folgende Konstruktion realisiert. Im Mittelbereich des rahmenartigen Plattenelements ist eine erste Durchgangsöffnung etwa rechteckiger Form ausgebildet. Ein erstes rahmenartig ausgebildetes Gewicht, das etwas dünner ist als das rahmenartige Plattenelement, ist innerhalb des rahmenartigen Plattenelements so angeordnet, daß es von diesem mittels eines ersten Lagerarms gehalten wird. Dieser Lagerarm erstreckt sich in Richtung parallel zur Y-Achse durch den Schwerpunkt des Gewichts. Ein zweites flaches Gewicht rechteckiger Form erstreckt sich in Richtung parallel zur Y-Achse. Es ist im ersten Gewicht in einer zweiten mittleren Durchgangsöffnung angeordnet. Das zweite Gewicht wird vom ersten Gewicht mittels eines zweiten Lagerarms gelagert, der sich in Richtung parallel zur X-Achse durch den Schwerpunkt des zweiten Gewichts erstreckt. Das erste Gewicht kann sich um den ersten Lagerarm und damit bezüglich der Y-Achse drehen, und zwar in begrenztem Maße relativ zum plattenartigen Element. Die längere Ausdehnung stellt ein Gewicht dar, das länger ist als die zweite Durchgangsöffnung in Richtung parallel zur X-Achse. Das zweite Gewicht kann um die X-Achse, d. h. auf dem zweiten Lagerarm geschwenkt werden, und zwar wiederum um ein begrenztes Maß gegenüber dem ersten Gewicht. Sowohl auf der Vorderseite als auch auf der Rückseite jedes der beiden Gewichte befinden sich Paare von feststehenden Elektroden, diese sind in entsprechend festen Abständen zueinander angeordnet. Auf den Innenseite der Glasplatten, die auf der Vorderseite und Rückseite des rahmenartigen Plattenelements angeordnet sind, sind mehrere zusätzliche feststehende Elektroden angeordnet. Diese stehen den zuvor erläuterten feststehenden Elektroden gegenüber, so daß sie mit diesen gemeinsam insgesamt sechs Kondensatoren ausbilden. Wird das erste Gewicht um die Y-Achse und das zweite Gewicht um die X-Achse verlagert, so daß sich eine daraus resultierende Gesamtverlagerung ergibt, so verändern sich die Kapazitäten der zuvor erläuterten Kondensatoren entsprechend dieser Gesamtverlagerung. Im Ergebnis ist es möglich, sowohl die Winkelbeschleunigung als auch die lineare Beschleunigung eines sich bewegenden Körpers auf der Grundlage der so ermittelten Veränderungen der Kapazitäten dieser Kondensatoren zu errechnen.

Beim zuvor an erster Stelle erläuterten bekannten Beschleunigungssensor befindet sich der Lagerarm an der Schmalseite des Gewichts und erstreckt sich von dort nach außen, d. h. zum rahmenartigen Plattenelement. Man muß also bei dem Gewicht des bekannten Standes der Technik an der Schmalseite etwas Abstand vorsehen, so daß der Lagerarm dort untergebracht werden kann. Dadurch ist es schwierig, den zuvor behandelten Beschleunigungssensor in der Größe zu reduzieren. Wird die Länge des Lagerarms reduziert, um eine Verkleinerung des Beschleunigungssensors zu erzielen, so resultiert daraus eine Ermüdungsgefahr für den Lagerarm, der dementsprechend leicht reißt oder bricht, wenn das Gewicht durch Beschleunigungseinwirkung verlagert wird und den

Lagerarm belastet.

Andererseits sind im an zweiter Stelle erläuterten bekannten Beschleunigungssensor die Elektroden am ersten und zweiten Gewicht jeweils eigenständig angeordnet. Diese Elektroden werden beispielsweise im Lichtmaskenverfahren aufgebracht. Das Aufbringen der Elektroden auf das erste und das zweite Gewicht jeweils für sich macht die Herstellung der Elektroden kompliziert. Im übrigen ist das Arrangement der Zuleitungen der Elektroden kompliziert, da jede der Elektroden eigene Zuleitungen erfordert.

Im zuvor an zweiter Stelle erläuterten bekannten Beschleunigungssensor sind das erste und das zweite Gewicht unterschiedlich groß und unterschiedlich angeordnet, nämlich innen und außen. Die Elektroden sind separat angeordnet, um die entsprechend separaten Kondensatoren zu bilden. Aufgrund der unterschiedlichen Größe der beiden Gewichte sind die resultierenden Momente natürlich unterschiedlich. Selbst dann also, wenn das erste und das zweite Gewicht mit derselben Winkelbeschleunigung um die X-Achse und die Y-Achse geschwenkt werden, ergeben sich bei dem bekannten Beschleunigungssensor Fehler bei den entsprechend sich verändernden Kapazitätswerten der Kondensatoren. Um also bei dem an zweiter Stelle erläuterten Beschleunigungssensor bekannter Technik eine wirkliche Präzisionsmessung zu realisieren, ist es in der Praxis erforderlich, einige Maßnahmen zur Kompensation solcher Meßfehler der Winkelbeschleunigung zu realisieren, die auf den Unterschied in den Momenten der beiden Gewichte zurückzuführen sind. Solche Kompensationsmaßnahmen sind ein passendes Design des Lagerarms, d. h. durch Anpassung des Durchmessers des Lagerarms und ähnliche Parameter, zur Kompensation für die genannten Fehler, sowie eine passende Auswerteschaltung zur Kompensation der genannten Fehler. Natürlich steigen die Herstellungskosten durch solche zusätzlichen Maßnahmen erheblich.

Auf der anderen Seite ist im zuvor erläuterten Stand der Technik — JP-A 4-252.961 — ein Beschleunigungssensor des nachfolgend erläuterten Aufbaus offenbart. Ein plattenartiges Gewicht aus elektrisch leitfähigem Material ist mit einer Achse ausgerüstet und im Sensor so angebracht, daß es auf der Achse drehbar ist. Gegenüber dem plattenartigen Gewicht angeordnet ist eine feststehende Elektrode, so daß durch das Gewicht und die feststehende Elektrode ein Kondensator gebildet ist. Wird der Sensor einer linearen Beschleunigung unterworfen, so schwenkt das Gewicht auf der Achse und führt zu einer Veränderung der Kapazität des Kondensators. Diese Veränderung in der Kapazität des Kondensators wird gemessen, um daraus die lineare Beschleunigung zu errechnen.

Ein anderer bekannter Beschleunigungssensor ist aus der JP-A 5-256.841 bekannt. Bei diesem Beschleunigungssensor wird eine bewegbare Elektrode von einem einseitig eingespannten Ausleger gehalten. Sie ist zwischen einem Paar von feststehenden Elektroden angeordnet, um so ein Paar von Kondensatoren dadurch zu bilden. Wird der Sensor einer linearen Beschleunigung unterworfen, so wird die bewegbare Elektrode verlagert, so daß der Kondensator in seiner Kapazität variiert. Die lineare Beschleunigung wird auf der Grundlage der Änderungen in den Kapazitäten der Kondensatoren bestimmt.

Dreidimensionale Bewegungen des sich bewegenden Objekts werden durch Koordinaten, d. h. durch x-, y- und z-Positionen des sich bewegenden Objekts im dreidimensionalen Raum repräsentiert, während Winkelgeschwindigkeiten von Drehbewegungen des sich bewegenden Objekts repräsentiert werden, d. h. durch Kippen, Gieren und Rollen. Bei den zuvor erläuterten verschiedenen Regelungssystemen von Kraftfahrzeugen ist es erstrebenswert, alle zuvor erläuterten Parameter für die Bewegungsermittlung des sich bewegenden Objekts auszunutzen.

Beispielsweise bei der zuvor erläuterten aktiven Radaufhängung und den ABS-Bremssystemen sollten sowohl die lineare Beschleunigung als auch die Winkelbeschleunigung ermittelt werden.

Für einen Beschleunigungssensor an einem Kraftfahrzeug ist es folglich erstrebenswert, einen einzigen Beschleunigungssensor einzusetzen, der in der Lage ist, Winkelbeschleunigungen sowie lineare Beschleunigungen in jeder einer Mehrzahl von Richtungen zu erfassen.

Jeder der zuvor erläuterten bekannten Beschleunigungssensoren ist jedoch nur in der Lage, die lineare Beschleunigung in einer Richtung sowie die Winkelbeschleunigung zu erfassen.

Wenn es also notwendig ist, die Winkelbeschleunigung und die lineare Beschleunigung eines sich bewegenden Objekts in drei Richtungen (d. h. in den Richtungen parallel zu der X-, der Y- und der Z-Achse) im dreidimensionalen Raum zu erfassen, so müssen sowohl der Sensor für die lineare Beschleunigung als auch der Sensor für die Winkelbeschleunigung für jede der Richtungen gesondert vorhanden sein. Aus ökonomischer Sicht ist also der bekannte Beschleunigungssensor ziemlich nachteilig. Die Anzahl der Komponenten bei bekannten Beschleunigungssensor-Systemen ist groß, ein solches Beschleunigungssensor-System ist nicht sehr zuverlässig.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen im zuvor erläuterten Sinne verbesserten Beschleunigungssensor anzugeben sowie ein Verfahren anzugeben, mit dem ein solcher Beschleunigungssensor zweckmäßig hergestellt werden kann.

Die zuvor aufgezeigte Aufgabe wird durch einen Beschleunigungssensor mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Weitere eigenständige Lösungen sind Gegenstand von Nebenansprüchen, denen eigene erfinderische Bedeutung zukommt. Dieses und weitere Unteransprüche werden im weiteren Verlauf der Beschreibung näher erläutert.

Bei dem erfindungsgemäßen Beschleunigungssensor der im Anspruch 1 beschriebenen Konstruktion schwenkt das plattenartige Gewicht auf einer Längsachse, d. h. auf der X- oder der Y-Achse, des Torsions-Lagerarms folgend dem Ausmaß der Winkelbeschleunigung, der der Beschleunigungssensor ausgesetzt ist. Tritt eine Linearbeschleunigung in Z-Richtung auf, so wird das plattenartige Gewicht in Richtung parallel zur Z-Achse vermittels des Torsions-Lagerarms verlagert. Da der Torsions-Lagerarm zwischen der mittigen feststehenden Platte (die im mittleren Bereich des mittigen Fensters des plattenartigen Gewichts angeordnet ist) und der Innenfläche des mittigen Fensters des plattenartigen Gewichts angeordnet ist, kann die Gesamtlänge des

Torsions-Lagerarms vergrößert werden wenn die mittige feststehende Platte in ihrer Höhe wie in Fig. 1 dargestellt reduziert wird. Das verbessert die Ermüdungseigenschaften des Torsions-Lagerarms unter Torsionsbeanspruchung. Insbesondere, da der Torsions-Lagerarm im wesentlichen dieselbe Dicke wie das plattenartige Gewicht hat, wird der Torsions-Lagerarm relativ leicht verwunden wenn er dem vom plattenartigen Gewicht erzeugten Moment unterworfen wird. Die Ermüdungseigenschaften des Torsions-Lagerarms werden somit hinreichend verbessert. Darüber hinaus ist das plattenartige Gewicht nicht mit zusätzlichen Komponenten an seinem äußeren Rand versehen, dadurch kann man die Gesamtgröße des Beschleunigungssensors verringern.

Folgende Vorteile der Erfindung ergeben sich:

Der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor ist insgesamt auf einfache Weise in der Baugröße verringert, wobei gleichzeitig der Lagerarm, d. h. der Torsions-Lagerarm, des Beschleunigungssensors in seinen Ermüdungseigenschaften verbessert wird.

Eine Mehrzahl von Elektroden, die eine Mehrzahl von Kondensatoren bilden, sind bei diesem Beschleunigungssensor einfach anbringbar. Die Verdrahtung des Beschleunigungssensors ist vereinfacht.

Sowohl die Winkelbeschleunigung als auch die lineare Beschleunigung eines sich bewegenden Objekts werden mit geringen Kosten präzise erfaßt.

Der Beschleunigungssensor ist einfach konstruiert und ist darüber hinaus in der Lage, sowohl die lineare Beschleunigung in jeder einer Mehrzahl von Richtungen ebenso wie die Winkelgeschwindigkeit oder Winkelbeschleunigung eines sich bewegenden Objekts zu erfassen.

Der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor kann mikromaschinell hergestellt werden und läßt sich in extrem großen Stückzahlen kostengünstig fertigen.

Der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor ist in der Lage, die linearen Beschleunigungen in jeder einer größtmöglichen Anzahl von Richtungen zusammen mit den entsprechenden Winkelbeschleunigungen zu erfassen.

Der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor hat einen relativ geringen MontageRaumbedarf, hat aber genügend Platz zur Anbringung der Elektroden. Der Beschleunigungssensor ist in der Lage, entsprechende geringfügige Änderungen in den Kapazitäten seiner Kondensatoren festzustellen und ist hervorragend empfindlich.

Gegenstand der Erfindung ist im übrigen auch ein Verfahren zur Herstellung eines in der Qualität verbesserten und wirkungsvolleren Beschleunigungssensors.

Im folgenden wird die Erfindung anhand einer lediglich Ausführungsbeispiele darstellenden Zeichnung weiter erläutert. In der Zeichnung zeigt

Fig. 1 eine Ansicht eines wesentlichen Teils eines ersten Ausführungsbeispiels eines Beschleunigungssensors gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung,

Fig. 2 einen Schnitt gemäß A-A von Fig. 1,

Fig. 3 in Fig. 1 entsprechender Darstellung ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors entsprechend einem ersten Aspekt der Erfindung,

Fig. 4 einen Schnitt gemäß A-A in Fig. 3,

Fig. 5 in einer Fig. 1 entsprechenden Darstellung ein drittes Ausführungsbeispiel eines Beschleunigungssensors gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung,

Fig. 6 einen Schnitt gemäß A-A in Fig. 5,

Fig. 7 einen Schnitt gemäß B-B in Fig. 5,

Fig. 8 in einer Fig. 5 entsprechenden Darstellung eine Modifikation des dritten Ausführungsbeispiels des ersten Aspekts der Erfindung,

Fig. 9 in einer Ansicht den wesentlichen Kernbereich eines weiter modifizierten Ausführungsbeispiels der Erfindung gemäß Fig. 5,

Fig. 10 in einer Fig. 9 entsprechenden Darstellung eine weitere Modifikation in einer Darstellung gemäß Fig. 5,

Fig. 11 in einer Fig. 5 entsprechenden Darstellung einen wesentlichen Teil eines vierten Ausführungsbeispiels eines Beschleunigungssensors entsprechend einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung,

Fig. 12 einen Schnitt gemäß A-A in Fig. 11,

Fig. 13 einen Schnitt gemäß B-B in Fig. 11,

Fig. 14 in einer Fig. 11 entsprechenden Ansicht eine Modifikation des vierten Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 11,

Fig. 15 in einer Sprengdarstellung in perspektivischer Ansicht ein erstes Ausführungsbeispiel entsprechend einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung,

Fig. 16 ausschnittsweise, in vergrößerter Darstellung, einen wesentlichen Teil des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 15, darstellend den Lagerarm, der sich in Richtung parallel zur X-Achse erstreckt, und den damit verbundenen Abschnitt,

Fig. 17 einen Schnitt durch den Beschleunigungssensor des ersten Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 15 entlang der X-Z-Ebene, d. h. entlang der Linie A-A in Fig. 15,

Fig. 18 einen Längsschnitt des Lagerarms des Beschleunigungssensors aus Fig. 15 entlang der X-Z-Ebene in Fig. 15,

Fig. 19 eine Ansicht des Beschleunigungssensors gemäß Fig. 15, die die Anordnung der transparenten Elektroden und eines Gewichts des Beschleunigungssensors erkennen läßt,

Fig. 20 in schematischer Darstellung ein Ersatzschaltbild des Beschleunigungssensors der Erfindung gemäß Fig. 15,

Fig. 21a—d schematische Darstellungen des Herstellungsverfahrens eines ersten aus Glas bestehenden Plattelements zur Verwendung in einem Beschleunigungssensor gemäß der Erfindung in Fig. 15

Fig. 22a—d schematische Darstellungen des Herstellungsverfahrens eines Gewichts und entsprechender Komponenten zur Verwendung in einem Beschleunigungssensor gemäß der Erfindung in Fig. 15,

Fig. 23a—d schematische Darstellungen des Herstellungsverfahrens eines Gewichts und ähnlicher Komponenten in einem Beschleunigungssensor der Erfindung gemäß Fig. 15,

Fig. 24a, b schematische Darstellungen, die das Bonding der ersten und zweiten aus Glas bestehenden Plattenelemente und des Gewichts im Beschleunigungssensor gemäß der Erfindung in Fig. 15 darstellen,

Fig. 25 in einer Ansicht die durchsichtigen Elektroden und das Gewicht eines Beschleunigungssensors gemäß Fig. 15, hier darstellend die Situation die entsteht, wenn eine lineare Beschleunigung in Richtung parallel zur X-Achse auf den Beschleunigungssensor ausgeübt wird,

Fig. 26 eine Seitenansicht der durchsichtigen Elektroden und des Gewichts des Beschleunigungssensors in Fig. 15, darstellend die Situation in der eine lineare Beschleunigung in Richtung parallel zu der Z-Achse aufgebracht wird,

Fig. 27 in einer Seitenansicht die durchsichtigen Elektroden und das Gewicht des Beschleunigungssensors in Fig. 15, in der Situation, in der der Beschleunigungssensor einer Winkelbeschleunigung um die Y-Achse ausgesetzt wird,

Fig. 28 eine grafische Darstellung, die das Ausgangssignal (Spannung in Volt) in Abhängigkeit von der linearen Beschleunigung (in g) darstellt, und zwar für einen Beschleunigungssensor gemäß der Erfindung in Fig. 15, wobei das Ausgangssignal (V) der Änderung der Kapazität des Kondensators im Beschleunigungssensor entspricht,

Fig. 29 eine grafische Darstellung des Ausgangssignals (mV) in Abhängigkeit von der Winkelgeschwindigkeit (deg/s; °/sec), bei dem Beschleunigungssensor gemäß der Erfindung in Fig. 15, wobei die Veränderungen im Ausgangssignal (mV) der Veränderung der Kapazität der Kondensatoren des Beschleunigungssensors entspricht,

Fig. 30 in einer Ansicht einen wesentlichen Teil eines Beschleunigungssensors eines zweiten Ausführungsbeispiels entsprechend einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung wie in Fig. 15 dargestellt,

Fig. 31 einen Schnitt des Beschleunigungssensors aus Fig. 30 entlang der Linie B-B,

Fig. 32 eine perspektivische Ansicht einer kammartigen feststehenden Elektrode des Beschleunigungssensors aus Fig. 30,

Fig. 33 eine schematische Darstellung des Ersatzschaltbildes des Beschleunigungssensors gemäß Fig. 30,

Fig. 34 eine Ansicht eines wesentlichen Teils eines dritten Ausführungsbeispiels gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung,

Fig. 35a, vergrößert, teilweise weggebrochen, in einer Seitenansicht eine transparente, kammartige Elektrode und das Gewicht eines Beschleunigungssensors gemäß der Erfindung in Fig. 34, und zwar in der Situation, in der der Beschleunigungssensor einer linearen Beschleunigung in Richtung parallel zur X-Achse noch nicht ausgesetzt ist,

Fig. 35b, in einer Fig. 35a entsprechenden Darstellung den Beschleunigungssensor, der nunmehr einer linearen Beschleunigung in Richtung der X-Achse ausgesetzt worden ist,

Fig. 36 in einer Ansicht einen Mehrachsen-Beschleunigungssensor eines ersten Ausführungsbeispiels der Erfindung entsprechend einem dritten Aspekt der Erfindung,

Fig. 37 einen Schnitt durch den Mehrachsen-Beschleunigungssensor gemäß der Erfindung entlang der Linie A-A in Fig. 36,

Fig. 38a in einer schematischen Darstellung die Verlagerung des Gewichts des Beschleunigungssensors der vorliegenden Erfindung gemäß Fig. 36, wobei das Gewicht einer Winkelbeschleunigung um die X-Achse ausgesetzt ist,

Fig. 38b eine schematische Darstellung der Verlagerung des Gewichts des Beschleunigungssensors der vorliegenden Erfindung gemäß Fig. 36, wobei das Gewicht einer Winkelbeschleunigung um die Y-Achse ausgesetzt ist,

Fig. 39 eine Ansicht eines zweiten Ausführungsbeispiels eines Mehrachsen-Beschleunigungssensors gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung,

Fig. 40 einen Schnitt des Mehrachsen-Beschleunigungssensors entlang B-B in Fig. 39,

Fig. 41a, b schematische Darstellungen, die das Herstellungsverfahren des Mehrachsen-Beschleunigungssensors gemäß der Erfindung in Fig. 39 illustrieren, und

Fig. 42a, b schematische Darstellungen, die das Herstellungsverfahren des Mehrachsen-Beschleunigungssensors der vorliegenden Erfindung in Fig. 39 illustrieren.

Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung im einzelnen beschrieben mit Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen, die oben kurz erläutert worden sind.

Zunächst wird ein erster Aspekt der vorliegenden Erfindung mit Bezugnahme auf die Fig. 1 bis 14 erläutert.

Fig. 1 zeigt den für die Erfindung wesentlichen Innenbereich eines ersten Ausführungsbeispiels eines Beschleunigungssensors entsprechend einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung. Fig. 2 zeigt einen entsprechenden Schnitt entlang A-A in Fig. 1. Wie in den Fig. 1 und 2 dargestellt ist, befindet sich im Mittelbereich eines Beschleunigungssensors gemäß der Erfindung eine mittige feststehende Platte 1. Die Platte 1 hat eine hinreichende Breite in Richtung der X-Achse (die Koordinaten sind jeweils rechts unten in der Darstellung angegeben), jedoch eine geringe Höhe gemäß Fig. 1 in Richtung der Y-Achse. Ihre Dicke ist etwas größer als die Dicke eines plattenartigen Gewichts 3 (die Dicke in Richtung der Z-Achse gemessen). Somit kann auf der Außenseite des plattenartigen Gewichts 3 ein Kondensator ausgebildet werden. In der Mitte jeder der beiden einander gegenüberliegenden Außenseiten der mittigen feststehenden Platte 1 ist feststehend und integral angebracht ein Endbereich von einem Torsions-Lagerarm 7a, 7b eines Paares von Lagerarmen. Diese erstrecken sich in Richtung parallel zur Y-Achse. Eine geringe Baugröße des Beschleunigungssensors ergibt sich dadurch, daß die mittige

feststehende Platte 1 hinreichend steif ausgeführt ist und eine ausreichend geringe Höhe gemäß Fig. 1, also gemessen in Richtung der Y-Achse, hat.

Das plattenartige Gewicht 3 weist ein Fenster 5, also eine Art Durchgangsöffnung, auf, die in der Mitte bzw. im mittleren Bereich angeordnet ist und darin die mittige feststehende Platte 1 aufnimmt. Die anderen Enden der beiden Torsions-Lagerarme 7a, 7b sind feststehend und integriert mit der Mitte der beiden inneren Seitenflächen des Fensters 5 verbunden. Die einander gegenüberliegenden Seitenflächen verlaufen rechtwinklig zur Y-Achse. Die Folge ist, daß folgende Teile über die Torsions-Lagerarme 7a, 7b fest und integral miteinander verbunden sind:

Die Mitten der einander gegenüberliegenden Außenseiten der mittigen feststehenden Platte 1, wobei diese Außenseiten selbst senkrecht zur Y-Achse verlaufen, und die Mitten der einander gegenüberliegenden Innenseiten des Fensters 5 des plattenartigen Gewichts 3, wobei diese einander gegenüberliegenden Innenseiten ebenfalls senkrecht zur Y-Achse verlaufen. Jeder der Torsions-Lagerarme 7a, 7b weist eine geringe Breite auf (in X-Richtung gemessen), hat aber im wesentlichen dieselbe Dicke wie das Gewicht 3 (in Z-Richtung gemessen). Das Ergebnis ist, daß die Torsions-Lagerarme 7a, 7b hinreichend elastisch um die Y-Achse sind und daher eine exzellente Empfindlichkeit bezüglich Winkelbeschleunigungen ergeben. Das Gewicht 3 weist ein Paar von Gewichtsabschnitten 9a, 9b in den einander gegenüberliegenden Bereichen angrenzend an das Fenster 5 auf. Die Gewichtsabschnitte 9a, 9b sind in Richtung der X-Achse miteinander ausgerichtet. Auf einander gegenüberliegenden Außenflächen der Gewichtsabschnitte 9a, 9b sind Elektroden 11a, 12a bzw. 11b, 12b jeweils einander gegenüberliegend angeordnet, wobei die Außenflächen senkrecht zur Z-Achse verlaufen.

Hinsicht der mittigen feststehenden Platte 1, des plattenartigen Gewichts 3 und der Torsions-Lagerarme 7a, 7b ist es möglich, diese insgesamt als ein integrales Teil in einem Herstellungszug aus einer einzigen Platte herzustellen, und zwar durch Verwendung einer Ätztechnik (anisotrope Ätzung).

Das plattenartige Gewicht 3 wird außen von einem Außenrahmen 15 umgeben, der im wesentlichen dieselbe Dicke hat wie das Gewicht 3 (gemessen in Z-Richtung). In Positionen nächst einander gegenüberliegenden Seiten des Außenrahmens befinden sich eine Oberplatte 17 und eine Unterplatte 19, auch diese Außenseiten verlaufen senkrecht zur Z-Achse. Von der Oberplatte 17 und der Unterplatte 19 wird gemeinsam ein Außengehäuse 21 gebildet. Jede der Platten 17, 19 hat im wesentlichen eine flache Form, weist aber innen einen konkaven Bereich auf. An den Bodenflächen der konkaven Bereiche der beiden Platten 17, 19 befinden sich zusätzliche Elektroden 23a, 25a und 23b, 25b wie in Fig. 2 dargestellt. Das Paar Elektroden 23a, 25a entspricht den Elektroden 11a, 12a des Gewichtsabschnitts 9a des Gewichts 3. Demgegenüber entspricht das andere Paar der Elektroden 23b, 25b den Elektroden 11b, 12b an dem anderen Gewichtsabschnitt 9b des Gewichts 3. Somit ist also mit den Elektroden 11a, 23a ein erster Kondensator C1, mit den Elektroden 11b, 23b ein zweiter Kondensator C2, mit den Elektroden 12a, 25a ein dritter Kondensator C3 und mit den Elektroden 12b, 25b ein vierter Kondensator C4 gebildet. Der Standardspalt (Abstand der Kondensatorplatten) jedes der Kondensatoren ist abhängig von der Tiefe zwischen den konkaven Bereichen der Oberplatte 17 und der Unterplatte 19. Betrachtet man Fig. 2, so liegt es auf der Hand, daß es möglich ist, die konkaven Bereiche in den Platten 17, 19 wegzulassen, wenn der Außenrahmen 15 dieselbe Dicke wie die mittige feststehende Platte 1 aufweist. Hinsichtlich der Verdrahtung mit der Auswerteschaltung (nicht dargestellt) ist beispielsweise realisierbar, daß eine vorgegebene Anzahl von Durchgangsbohrungen in der Oberplatte 17 oder der Unterplatte 19 angebracht wird, um die Elektroden 23a, 23b, 25a, 25b zu kontaktieren.

Fig. 2 zeigt, daß der Außenrahmen 15 zwischen der Oberplatte 17 und der Unterplatte 19 fest eingespannt ist, so daß dazwischen die Kondensatoren C1, C2, C3, C4 gebildet werden. Gleichzeitig wird auch die mittige feststehende Platte 1 fest zwischen der Oberplatte 17 und der Unterplatte 19 bzw. deren konkaven Bereichen eingespannt.

Wenn dieser Beschleunigungssensor im Betrieb beispielsweise einer Winkelbeschleunigung um die Längsachse der Torsions-Lagerarme 7a, 7b parallel zur Y-Achse ausgesetzt wird, so schwenkt das plattenartige Gewicht 3 in eine Winkelstellung bezüglich der Längsachse der Torsions-Lagerarme 7a, 7b und verwindet diese entgegen dem Torsionswiderstand der Lagerarme 7a, 7b. Die Winkelstellung, in der das Gewicht 3 seine Schwenkbewegung beendet, entspricht dem Moment des Gewichts 3 unter dem Einfluß der Winkelbeschleunigung um die Längsachse der Torsions-Lagerarme 7a, 7b. Wenn also in diesem Zusammenhang dann die Ist-Spaltweite der Kondensatoren C1, C4 ansteigt, so sinkt entsprechend die Ist-Spaltweite der Kondensatoren C2, C3. Die Kapazitäten der Kondensatoren entwickeln sich umgekehrt proportional zur Ist-Spaltweite, sinken also bei C1 und C4 und steigen entsprechend bei C2 und C3. Demgegenüber entwickeln sich die Ist-Spaltweiten und Kapazitäten der Kondensatoren C1, C2, C3, C4 genau umgekehrt, wenn eine Schwenkung des Gewichts 3 in der Gegenrichtung stattfindet. In der Auswerteschaltung werden Veränderungen der Kapazitäten der Kondensatoren C1, C4 und C2, C3 erfaßt und ausgewertet, so daß sowohl die Neigung des plattenartigen Gewichts 3 als auch die Neigungsrichtung berechnet werden können. Die Winkelbeschleunigung des Beschleunigungssensors der vorliegenden Erfindung kann somit nach Betrag und Richtung berechnet werden.

Im zuvor erläuterten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist das plattenartige Gewicht 3 mit einem Fenster 5 in der Mitte ausgerüstet. Die mittige feststehende Platte 1 befindet sich im Mittelbereich des Fensters 5. Die Torsions-Lagerarme 7a, 7b sind fest und integral zwischen den Mitten der einander gegenüberliegenden Innenflächen des Fensters 5 des Gewichts 3 und den gegenüberliegenden Mitten der einander gegenüberliegenden Außenflächen der mittigen Platte 1 angebracht. Wird nun die Höhe der feststehenden Platte 1 wie in Fig. 1 dargestellt verringert, um den Beschleunigungssensor insgesamt zu verkleinern, so wird dadurch die gesamte Länge (d. h. die Höhe in Fig. 1) jedes der Torsions-Lagerarme 7a, 7b vergrößert im Gegensatz zu konventionellen Beschleunigungssensoren. Dort nämlich sind die Torsions-Lagerarme, außen am plattenartigen Gewicht angebracht oder angeordnet. Die nach der erfindungsgemäßen Lehre so in der Länge vergrößerten Torsions-Lagerarme 7a, 7b sind weniger ermüdungsempfindlich bezüglich der Verwindung bzw. Torsion im Betrieb.



Damit ist der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor qualitativ und hinsichtlich der Zuverlässigkeit verbessert.

Bei dem zuvor erläuterten Ausführungsbeispiel der Erfindung kann man die gesamte Länge jedes der Lagerarme 7a, 7b auch dann vergrößern, wenn der Abstand zwischen der jeweiligen Außenfläche des Gewichts 3 und der entsprechenden Innenfläche des Außenrahmens 15 so klein wie möglich gemacht werden soll. Dadurch kann man die Empfindlichkeit des Beschleunigungssensors gegenüber der Torsion der Lagerarme 7a, 7b erhöhen. Dies wiederum macht es möglich, einen sowohl sehr kleinen als auch äußerst meßempfindlichen Beschleunigungssensor zu realisieren.

Fig. 3 zeigt einen wesentlichen Teil eines zweiten Ausführungsbeispiels eines Beschleunigungssensors entsprechend einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung. Fig. 4 zeigt einen Schnitt entlang A-A in Fig. 3. Das zweite Ausführungsbeispiel wird mit Bezugnahme auf Fig. 3 und 4 erläutert, wo ein plattenartiges Gewicht 31 mit einem Paar einander gegenüberliegender Ausnehmungen (ausgeklinte Bereiche) 33a, 33b im Mittelbereich versehen ist. Die Böden der Ausnehmungen 33a, 33b verlaufen senkrecht zur Y-Achse. In der Mitte jedes der beiden Böden der Ausnehmungen 33a, 33b ist das Ende eines Torsions-Lagerarms 45a, 45b fest angebracht, diese werden später erläutert. In Positionen nächst einander gegenüberliegenden Seiten der Ausnehmungen 33a, 33b befinden sich zwei Gewichtsabschnitte 35a, 35b, die in Richtung der X-Achse miteinander ausgerichtet sind. Dies zeigt Fig. 3. Ein Paar von Elektroden 37a, 39a sind auf einander gegenüberliegenden Seiten des Gewichtsabschnitts 35a angeordnet, diese einander gegenüberliegenden Seiten verlaufen senkrecht zur Z-Achse. Ein weiteres Paar von Elektroden 37b, 39b befindet sich fest angeordnet auf einander gegenüberliegenden Seiten des Gewichtsabschnitts 35b, auch diese einander gegenüberliegenden Seiten verlaufen senkrecht zu der Z-Achse. Um das Gewicht des Beschleunigungssensors weiter zu verringern, ist es auch möglich, im Mittelbereich des plattenartigen Gewichts 31 eine Mittelbohrung oder Ausnehmung anzuordnen, wie das gestrichelt in Fig. 3 angedeutet und mit dem Bezugszeichen 36 identifiziert ist. Die Gewichtsverringerng des plattenartigen Gewichts 31 verbessert die Ansprechempfindlichkeit des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors bezüglich der Verwindungsbewegung des Gewichts 31.

Das Gewicht 31 ist in einem äußeren festen Rahmen 41 angeordnet. Im äußeren festen Rahmen 41 befindet sich in der Mitte ein Fenster 43, in dem das plattenartige Gewicht 31 angeordnet ist. Die anderen Enden der beiden Torsions-Lagerarme 45a, 45b sind fest mit einander gegenüberliegenden Innenseiten des Fensters 43 verbunden. Die einander gegenüberliegenden Innenseiten oder Flächen sind senkrecht zur Y-Achse ausgerichtet. Mit anderen Worten sind also die Torsions-Lagerarme 45a, 45b mit ihren einander gegenüberliegenden Enden fest angeschlossen bzw. gebondet an beiden Zentren der Bodenflächen der Ausnehmungen 33a, 33b des Gewichts 31 und den Zentren der einander gegenüberliegenden inneren Seiten oder Flächen des Fensters 43 des äußeren festen Rahmens 41. Wie sich aus Fig. 3 ergibt, ist jeder der beiden Torsions-Lagerarme 45a, 45b recht schmal (die Breite wird in Richtung der X-Achse gemessen), wohingegen er etwa die Dicke des Gewichts 3 hat, dessen Dicke in Z-Richtung gemessen wird, was sich aus Fig. 4 ergibt. Die Elastizität der Torsions-Lagerarme 45a, 45b während der Verwindung ist hervorragend und die Empfindlichkeit gegenüber Winkelbeschleunigungen ist erhöht.

Auch hier ist es wieder möglich, das plattenartige Gewicht 3, die Torsions-Lagerarme 45a, 45b und den äußeren festen Rahmen 41 aus einer einzigen Platte in einem Herstellungszug herzustellen durch die oben schon erläuterte anisotrope Ätzung.

Wie sich aus Fig. 4 ergibt, ist der äußere feste Rahmen 41 zwischen einer Oberplatte 47 und einer Unterplatte 49 fest eingespannt. Diese Platten bilden gemeinsam ein Außengehäuse 51. Jede der Platten 47, 49 hat eine flache, plattenartige Form und an der Innenseite einen konkaven Bereich. Ein Paar von Elektroden 53a, 53b ist am Boden des konkaven Bereichs der Oberplatte 47 korrespondierend zu den Elektroden 37a, 37b am Gewicht 31 angeordnet. Andererseits befindet sich ein weiteres Paar von Elektroden 55a, 55b fest angebracht am Boden des konkaven Bereichs der Unterplatte 49, in Positionen entsprechend den Positionen der Elektroden 39a, 39b an der gegenüberliegenden Seite des plattenartigen Gewichts 31. Im Ergebnis wird von den Elektroden 37a, 53a ein Kondensator C1, von den Elektroden 37b, 53b ein Kondensator C2, von den Elektroden 39a, 55a ein Kondensator C3 und von den Elektroden 39b, 55b ein Kondensator C4 gebildet. Der Standardspalt jedes der Kondensatoren C1, C2, C3, C4 ist vom Abstand zwischen den Böden der konkaven Bereiche in den Platten 47, 49 abhängig. Aus Fig. 4 ergibt sich, daß dann, wenn der äußere feste Rahmen 41 zumindest dieselbe Dicke wie das plattenartige Gewicht 31 hat, die konkaven Bereiche in den Platten 47, 49 weggelassen werden können. Zum Anschluß der Elektroden an eine entsprechende Auswerteschaltung (nicht dargestellt) können Durchgangslöcher an vorgegebenen Stellen vorgesehen sein, durch die Anschlußleitungen zu den Elektroden 53a, 53b, 55a, 55b der Platten 47, 49 geführt werden.

Wird der dargestellte Beschleunigungssensor einer Winkelbeschleunigung um die Längsachse der Torsions-Lagerarme 45a, 45b ausgesetzt, so schwenkt das plattenartige Gewicht 31 um die von den Lagerarmen 45 gebildete Längsachse, die parallel zur Y-Achse liegt, und verwindet die Lagerarme 45 gegen deren Torsionswiderstand. Die Schwenkbewegung des Gewichts 31 stoppt in einer Winkelstellung, in der das Moment des plattenartigen Gewichts 31 gerade die elastische Rückstellkraft aus der Torsion der Torsions-Lagerarme 45 kompensiert. Bei dieser Verwindungsbewegung der Lagerarme 45 vergrößert sich beispielsweise die Ist-Spaltweite der Kondensatoren C1, C4, so daß deren Kapazitäten sinken. Demgegenüber verringert sich die Ist-Spaltweite der Kondensatoren C2, C3, so daß deren Kapazitäten ansteigen. Bei einer Schwenkung des Gewichts 31 in entgegengesetzter Richtung um die Längsachse der Lagerarme 45 entsteht eine umgekehrte Auswirkung. Verringert sich damit also die Ist-Spaltweite der Kondensatoren C1, C4, so erhöht sich deren Kapazität, während Verringert sich damit also die Ist-Spaltweite der Kondensatoren C2, C3 erhöht, da sich deren Ist-Spaltweite verringert. In den Schaltkreisen der Auswerteschaltung werden die Änderungen der Kapazitäten der Kondensatoren C1, C2, C3, C4 gemessen, so daß die Neigung des plattenartigen Gewichts 31 und die Neigungsrichtung berechnet werden können.

Daraus wieder kann die Winkelbeschleunigung, der der Beschleunigungssensor unterworfen worden ist, bestimmt werden.

Wie zuvor erläutert worden ist, befindet sich im Mittelbereich des plattenartigen Gewichts 31 ein Paar von Ausnehmungen 33a, 33b in Ausrichtung mit der Y-Achse. Die Torsions-Lagerarme 47 sind integral und fest zwischen den Mitten der Böden der Ausnehmungen 33 und den Mitten der einander gegenüberliegenden Innenseiten des äußeren festen Rahmens 41 angebracht. Die Tiefe jeder Ausnehmung 33 wird erhöht, um die Größe des Beschleunigungssensors insgesamt zu verringern. Gleichzeitig kann aber die Länge der Torsions-Lagerarme 45a, 45b erhalten oder vergrößert werden. Dies ist anders als im Stand der Technik, bei dem die Torsions-Lagerarme außerhalb der durchgehenden Außenseiten des plattenartigen Gewichts angeordnet waren. Aufgrund der erfindungsgemäßen Konstruktion werden die Torsions-Lagerarme 45 in ihren Ermüdungseigenschaften während der dauernden Torsion im Betrieb erheblich verbessert. Der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor ist qualitativ besser und zuverlässiger als der Beschleunigungssensor des Standes der Technik.

Bei dem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung mit der zuvor erläuterten Konstruktion kann die gesamte Länge jedes der Torsions-Lagerarme 45a, 45b auch dann vergrößert werden, wenn der Abstand zwischen einer äußeren Oberfläche des plattenartigen Gewichts 31 und einer inneren Oberfläche des äußeren festen Rahmens 41 nicht vergrößert wird. Aus diesem Grunde ist die Meßempfindlichkeit des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors bezüglich der Verwindung der Torsions-Lagerarme 45a, 45b erhöht. Ein in der Ansprechempfindlichkeit exzellenter Beschleunigungssensor kann daher trotzdem mit geringen Außenabmessungen hergestellt werden.

Fig. 5 zeigt ein drittes Ausführungsbeispiel eines Beschleunigungssensors entsprechend einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung. Fig. 6 zeigt einen Schnitt durch den Beschleunigungssensor aus Fig. 5 entlang der Linie A-A, Fig. 7 einen solchen entlang B-B in Fig. 5. Wie sich aus diesen Zeichnungen ergibt, ist hier eine mittige feststehende Platte 61 im Mittelbereich des Beschleunigungssensors angeordnet. Diese Platte 61 hat eine flache, plattenartige Form schmal in Richtung parallel zur X-Achse und zur Y-Achse. Die Dicke der mittigen feststehenden Platte 61 ist etwas größer als die Dicke eines plattenartigen Gewichts 67, wobei diese Dicke in Z-Richtung gemessen wird, wie das in Fig. 6 dargestellt ist. Die Mitten einander gegenüberliegender Seiten der mittigen feststehenden Platte 61 sind fest und integral verbunden oder gebondet an die Enden von Torsions-Lagerarmen 65a, 65b. Die einander gegenüberliegenden Seiten verlaufen senkrecht zur X-Achse. Um die Außenabmessungen des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors zu verringern, hat die mittige feststehende Platte 61 vorzugsweise eine hinreichende Steifigkeit, so daß sie sowohl in Richtung der X-Achse als auch in Richtung der Y-Achse recht schmal sein kann.

Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist nun noch ein zusätzlicher Rahmen — Zusatzrahmen 63 — außen um die mittige feststehende Platte 61 angeordnet. Der Zusatzrahmen 63 hat eine etwas geringere Dicke als die mittige feststehende Platte 61, um den Standardspalt für jeden Kondensator vorzugeben. Die Dicke wird in Z-Richtung gemessen. Die Mitten einander gegenüberliegender Innenseiten des Zusatzrahmens 63 sind fest und integral verbunden oder gebondet mit den Enden eines Paares von Torsions-Lagerarmen 65a, 65b, die in X-Richtung verlaufen. Die Innenseiten verlaufen senkrecht zur X-Richtung. Mit anderen Worten sind also die einander gegenüberliegenden Enden der Torsions-Lagerarme 65a, 65b fest und integral verbunden oder gebondet an die Mitten der einander gegenüberliegenden Innenseiten des Zusatzrahmens 63 und die Mitten der einander gegenüberliegenden Außenseiten der mittigen feststehenden Platte 61, die selbst wieder senkrecht zur X-Achse verlaufen. Jeder der Torsions-Lagerarme 65 für die X-Achse ist in Richtung parallel zur Y-Achse schmal. Er hat ungefähr dieselbe Dicke wie der Zusatzrahmen 63, um so den Standardspalt jedes der Kondensatoren vorzugeben, der außen am plattenartigen Gewicht 67 ausgebildet ist. Die Torsions-Lagerarme 65 für die X-Achse haben also eine exzellente Elastizität während der Torsion, es ergibt sich eine hervorragende Ansprechempfindlichkeit gegenüber Winkelbeschleunigungen. Fig. 5 zeigt dabei, daß die Mitten der einander gegenüberliegenden Außenseiten des Zusatzrahmens 63 fest und integral verbunden oder gebondet sind mit den Enden eines Paares weiterer Torsions-Lagerarme 71a, 71b in Y-Richtung. Die hier betroffenen Außenseiten verlaufen senkrecht zur Richtung der Y-Achse.

Das plattenartige Gewicht 67 ist außen um den Zusatzrahmen 63 angeordnet und weist ein Fenster 69 auf, in dem sowohl der Zusatzrahmen 63 als auch die mittige feststehende Platte 61 aufgenommen sind. Die Mitten einander gegenüberliegender Innenseiten des Fensters 69 sind fest und integral verbunden oder gebondet mit den anderen Enden der Torsions-Lagerarme 71 für die Y-Achse. Die einander gegenüberliegenden Innenseiten verlaufen senkrecht zu der Y-Achse. In anderen Worten ausgedrückt befinden sich also die Lagerarme 71 für die Y-Achse fest und integral verbunden oder gebondet mit den Mitten der einander gegenüberliegenden Außenseiten des Zusatzrahmens 63 und der einander gegenüberliegenden Innenseiten des Fensters 69 im plattenartigen Gewicht 67. Jeder der Torsions-Lagerarme 71 für die Y-Achse ist in Richtung parallel zur X-Achse schmal. Er hat im wesentlichen dieselbe Dicke wie der Zusatzrahmen 63, so daß der Standardspalt für jeden Kondensator außen am plattenartigen Gewicht 67 vorgegeben ist. Auch die Torsions-Lagerarme 71 für die Y-Achse haben also eine hervorragende Elastizität gegenüber Torsion, auch insoweit ist die Ansprechempfindlichkeit gegenüber Winkelbeschleunigungen deutlich verbessert.

Wie im übrigen aus Fig. 5 deutlich wird, hat das plattenartige Gewicht 67 die Form eines Quadrats mit vier das Fenster 69 umgebenden Seiten, wobei jede Seite einen Abschnitt des Gewichts bildet. Eine Mehrzahl von Elektroden 73a, b, c, d, und 75a, b, c, d sind auf vorderen und hinteren Oberflächen des Gewichts 67 aufgebracht oder eingelassen und verlaufen so senkrecht zur Z-Achse wie das in Fig. 6 und 7 dargestellt ist.

Auch hier ist es möglich, die mittige feststehende Platte 61, die Lagerarme 65 für die X-Achse, den Zusatzrahmen 63, die Lagerarme 71 für die Y-Achse und das plattenartige Gewicht 67 gemeinsam in einem einzigen Herstellungszug beispielsweise durch die zuvor angesprochene anisotrope Ätzung herzustellen. Die Dicken aller Lagerarme 65, Zusatzrahmen 63, Lagerarme 71 und plattenartiges Gewicht 67 stimmen miteinander



überein, wobei die Dicken in Richtung der Z-Achse gemessen werden.

Außerhalb des plattenartigen Gewichts ist ein Außenrahmen 77 angeordnet, der zwischen einer Oberplatte 79 und einer Unterplatte 81 fest eingeklemmt ist wie das in Fig. 6 dargestellt ist. Die beiden Platten 79, 81 bilden gemeinsam ein Außengehäuse 83. Jede der Platten 79, 81 hat eine plattenartige Form mit jeweils innen einem konkav ausgebildeten Bereich.

Ein Paar Elektroden 85a, 85c sind am Boden des konkaven Bereichs der Oberplatte 79 fest angebracht und korrespondieren in ihrer Position zu den Elektroden 73a, 73c der beiden Gewichtsabschnitte des Gewichts 67. Diese einander gegenüberliegenden Gewichtsabschnitte verlaufen senkrecht zur X-Achse. Ein weiteres Paar von Elektroden 87a, 87c sind am Boden des konkaven Bereichs der Unterplatte 81 fest angebracht und entsprechen in ihren Positionen den Elektroden 75a, 75c an den entsprechenden gegenüberliegenden Gewichtsabschnitten des Gewichts 67. Ein weiteres Paar von Elektroden 85b, 85d ist am Boden des konkaven Bereichs der Oberplatte 79 angebracht und stehen den Elektroden 73b, 73d gegenüberliegender Gewichtsabschnitte des Gewichts 67 gegenüber. Diese Gewichtsabschnitte liegen senkrecht zur Y-Achse. Ein weiteres Paar von Elektroden 87b, 87d sind am Boden des konkaven Bereichs der Unterplatte fest angebracht und korrespondieren zu den Elektroden 75b, 75d gegenüberliegender Gewichtsabschnitte des Gewichts 67. Auch diese Gewichtsabschnitte verlaufen senkrecht zur Y-Achse.

Von den zuvor erläuterten Elektroden werden folgende Kondensatoren gebildet:

Elektroden 73a/85a — Kondensator C1  
 Elektroden 73b/85b — Kondensator C2  
 Elektroden 73c/85c — Kondensator C3  
 Elektroden 73d/85d — Kondensator C4  
 Elektroden 75a/87a — Kondensator C5  
 Elektroden 75b/87b — Kondensator C6  
 Elektroden 75c/87c — Kondensator C7  
 Elektroden 75d/87d — Kondensator C8.

Der Standardspalt aller zuvor erläuterten Kondensatoren hängt von dem Abstand der Böden der konkaven Bereiche der Platten 79, 81 ab wie in Fig. 6 zu sehen. Ist der Außenrahmen 77 dicker als das Gewicht 67 und entspricht der Dicke der mittigen feststehenden Platte 61, so können die konkaven Bereiche in den Platten 79, 81 auch weggelassen werden. Zur Verdrahtung mit einer nicht dargestellten Auswerteschaltung können eine vorgewählte Anzahl von Durchgangslöchern in Positionen angebracht werden, die den Positionen der Elektroden 85a, b, c, d und 87a, b, c, d in den Platten 79, 81 entsprechen, so daß diese Elektroden hierdurch verdrahtet werden können.

Wird der Beschleunigungssensor des hier dargestellten Ausführungsbeispiels einer Winkelbeschleunigung um die Längsachse der Torsions-Lagerarme 65a, 65b für die X-Achse unterworfen, so schwenkt das plattenartige Gewicht 67 um die Längsachse dieser Lagerarme 65 entgegen deren Torsionswiderstand oder elastischen Rückstellkraft. Die Schwenkbewegung des plattenartigen Gewichts 67 endet dann, wenn das Drehmoment des Gewichts 67 die aus der Torsion der Lagerarme 65 resultierende Rückstellkraft nur noch ausgleicht. Bei dieser Verwindungsbewegung um die Lagerarme 65 für die X-Achse erhöht sich die Spaltweite der Kondensatoren C2, C8 und verringert sich deren Kapazität, umgekehrt ist das bei C4 und C6, dort sinkt die Spaltweite und die Kapazität erhöht sich. Bei einer Schwenkbewegung des Gewichts 67 in Gegenrichtung um die Lagerarme 65 für die X-Achse tritt der umgekehrte Effekt ein. Die Spaltweite der Kondensatoren C2, C8 verringert sich, deren Kapazität erhöht sich. Die Spaltweite der Kondensatoren C4, C6 erhöht sich, deren Kapazität jedoch verringert sich. Diese Änderungen in den Kapazitäten der Kondensatoren C2, 4, 6, 8 wird gemessen und ausgewertet in der Auswerteschaltung, so daß die Neigung und die Neigungsrichtung des plattenartigen Gewichts 67 ermittelt werden können. Die Winkelbeschleunigung um die X-Achse, der dieser Beschleunigungssensor in dem erläuterten Ausführungsbeispiel ausgesetzt ist, kann so präzise ermittelt werden.

Wenn der dargestellte Beschleunigungssensor einer Winkelbeschleunigung um die Längsachse der Torsions-Lagerarme 71 für die Y-Achse ausgesetzt wird, so schwenkt das plattenartige Gewicht 67 um die Längsachse der Torsions-Lagerarme 71 parallel zur Y-Achse und verwindet die Lagerarme 71 entgegen ihrer elastischen Rückstellkraft. Auch hier bleibt das plattenartige Gewicht 67 in einer Winkelstellung stehen, in der das Rückstellmoment der Torsions-Lagerarme 71a, 71b für die Y-Achse nur noch gerade ausgleicht. Hier ist es dann so, daß die Kapazitäten der Kondensatoren C1, C7 sinken, da deren Ist-Spaltweite ansteigt, während die Kapazitäten der Kondensatoren C3, C5 ansteigen, da die dortigen Spaltweiten geringer werden. Schwenkt das Gewicht 67 in umgekehrter Richtung um die Lagerarme 71, so tritt der umgekehrte Effekt auf. Die Spaltweite der Kondensatoren C1, C7 verringert sich, deren Kapazität erhöht sich, die Spaltweite der Kondensatoren C3, C5 erhöht sich, die Kapazität verringert sich. Die Änderungen der Kapazitäten der Kondensatoren C1, 3, 5, 7 wird in der Auswerteschaltung erfaßt und sowohl die Neigung als auch die Neigungsrichtung des plattenartigen Gewichts 67 werden ermittelt. Daraus läßt sich die Winkelbeschleunigung um die Y-Achse, der der Beschleunigungssensor der vorliegenden Erfindung im dargestellten Ausführungsbeispiel unterworfen ist, ermitteln.

In Fig. 5 ist auch eine Mittelachse zwischen der X-Achse und der Y-Achse, nämlich die i-Achse eingezeichnet. Die i-Achse verläuft in Fig. 5 durch den Schnittpunkt der Längsachsen der Torsions-Lagerarme 65 und 71 und halbiert den Winkel. Tritt also eine Winkelbeschleunigung um die i-Achse auf, so schwenkt das plattenartige Gewicht 67 um die i-Achse und verwindet die Torsions-Lagerarme 65a, b und 71a, b entsprechend in der zuvor erläuterten Weise. Die Schwenkbewegung des plattenartigen Gewichts wird begrenzt durch die überlagerten Rückstellkräfte der Torsions-Lagerarme 65/71, die resultierende Torsions-Rückstellkraft begrenzt also die Schwenkbewegung des Gewichts. Bei dieser überlagerten Schwenkbewegung kann beispielsweise die Ist-Spalt-

weite der Kondensatoren C1, C2, C7 und C8 ansteigen, deren Kapazitäten können sich entsprechend verringern. Demgegenüber können sich die Kapazitäten der Kondensatoren C3, C4, C5, C6 erhöhen, da deren Spaltweiten sinken. In umgekehrter Schwenkrichtung des Gewichts 67 tritt ein umgekehrter Effekt auf, nämlich verringerte Ist-Spaltweite der Kondensatoren C1, C2, C7, C8 und erhöhte Kapazität sowie verringerte Kapazität bei den Kondensatoren C3, C4, C5, C6 wegen dort erhöhter Ist-Spaltweite. In den Auswerteschaltkreisen werden die Veränderungen der Kapazitäten der Kondensatoren C1—C7 gemessen und Neigung und Neigungsrichtung des plattenartigen Gewichts 67 werden daraus errechnet. Daraus läßt sich die Winkelbeschleunigung um die i-Achse errechnen, der der Beschleunigungssensor in der vorliegenden Erfindung ausgesetzt ist.

Wie zuvor beschrieben worden ist, befindet sich ein Zusatzrahmen 63 außen um die feststehende Platte 61. Zwischen diesen Komponenten befinden sich die Torsions-Lagerarme für die X-Achse 65. Das plattenartige Gewicht 67 nimmt im mittigen Fenster 69 die Komponenten 61, 63 auf, befindet sich also außerhalb des Zusatzrahmens 63. Zwischen dem Gewicht 67 und dem Zusatzrahmen 63 befinden sich die Lagerarme 71 für die Y-Achse, die sich in Y-Richtung erstrecken. Das plattenartige Gewicht 67 hat eine passende symmetrische Form bezüglich der Längsachsen der Torsions-Lagerarme 65, 71 und trägt die Elektroden 73a—d und 75a—d an seiner Vorderseite und seiner Rückseite. Die Elektroden 73 und 75 können durch Drucktechniken (gedruckte Schaltung) oder Belichtungstechniken hergestellt werden. Damit kann man einen Satz Elektroden 73a—d bzw. den Satz Elektroden 75a—d mit einem einzigen Druckdurchgang realisieren. Dadurch wird der Herstellungsprozeß für den Beschleunigungssensor der Erfindung erheblich vereinfacht. Auch die Verdrahtung der Elektroden bei der Herstellung des Beschleunigungssensors wird einfacher. Wird im übrigen der Beschleunigungssensor der selben Winkelbeschleunigung um die X-Achse und die Y-Achse gleichzeitig ausgesetzt, so sind die vom Gewicht 67 erzeugten Momente um die jeweilige Achse im wesentlichen gleich groß. Die Errechnung der Winkelbeschleunigung um die beiden Achsen ist daher sehr präzise möglich, praktisch ohne Fehler. Bei dem Beschleunigungssensor gemäß der Erfindung ist es daher möglich, einen Kompensations-Schaltkreis für solche Fehler wegzulassen. Dadurch läßt sich der Beschleunigungssensor bei hoher Präzision gleichwohl zu geringen Kosten herstellen.

Fig. 8 zeigt eine Ansicht eines wesentlichen Teils eines modifizierten Beschleunigungssensors gemäß Fig. 5 entsprechend dem dritten Ausführungsbeispiel. Entsprechende Bezugszeichen sind verwendet wie in den Fig. 5 bis 8. Hier ist gegenüber dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 5 lediglich die Form des Zusatzrahmens 63 geändert. Daraus resultiert eine größere Länge der Torsions-Lagerarme 65 und 71 für die X-Achse und die Y-Achse. Der Zusatzrahmen 91 ist an seinen beiden Stirnseiten in X-Richtung, deren Außenflächen senkrecht zur X-Achse verlaufen, mittig nach außen ausgewölbt, so daß sich der Längsabstand zwischen einer inneren Fläche in der Mitte und der Außenfläche an der entsprechenden Seite gegenüber der mittigen feststehenden Platte 61 vergrößert. Die Lagerarme 65a' und 65b' für die X-Achse sind dementsprechend bei diesem Ausführungsbeispiel gegenüber dem Ausführungsbeispiel in Fig. 5 länger. Damit erhöht sich die Ansprechempfindlichkeit der Lagerarme 65' und deren Ermüdungseigenschaften verbessern sich. In entsprechender Weise ist der Zusatzrahmen 91 dieses Beschleunigungssensors an den quer zur Y-Achse verlaufenden Längsseiten mittig nach innen eingewölbt, so daß dort ein besonders großer Abstand zwischen der Außenfläche in der Mitte und der entsprechenden inneren Fläche gegenüberliegender Seiten des Fensters 69 zu verzeichnen ist. Dementsprechend sind die hier fest und integral ausgeformten bzw. angebrachten Lagerarme 71a' und 71b' für die Y-Achse ebenso besonders lang und erheblich länger als im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 5. Auch diese Lagerarme 71a', 71b' sind also empfindlicher und in ihren Ermüdungseigenschaften zweckmäßiger.

Die Längen der Torsions-Lagerarme 65' und 71' sind also in beiden Fällen größer als beim Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 5. Um die Länge zu vergrößern, kann der Zusatzrahmen jede denkbare andere Form aufweisen, beispielsweise die Formen des Zusatzrahmens 91' in Fig. 9 und 91'' in Fig. 10. In Fig. 9 hat der Zusatzrahmen 91' seine gegenüberliegenden Seiten parallel zur X-Achse (die senkrecht zur Y-Achse verlaufen) länger als die anderen Stirnseiten (die senkrecht zur X-Achse verlaufen). Die Längsseiten parallel zur X-Achse sind in der Mitte nach innen eingewölbt. Demgegenüber hat der Zusatzrahmen 91'' in Fig. 10 die Längsseiten parallel zur X-Achse deutlich länger als die Stirnseiten parallel zur Y-Achse.

In allen zuvor erläuterten Ausführungsbeispielen ist es wie weiter oben erläutert möglich, die mittige feststehende Platte 61, die Torsions-Lagerarme 65, den Zusatzrahmen 63/91, die Lagerarme 71 und das plattenartige Gewicht 67 aus einer einzigen durchgehenden Platte herzustellen, wie weiter oben erläutert beispielsweise nach der Methode anisotroper Ätzung.

Fig. 11 zeigt eine Ansicht eines Kernbereichs eines vierten Ausführungsbeispiels des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung. Fig. 12 zeigt einen Schnitt gemäß A-A, Fig. 13 einen Schnitt B-B in Fig. 11. Hier ist ein äußerer fester Rahmen 101, ebenfalls plattenartiggestaltet, vorhanden, der ein Fenster 103 aufweist, das sowohl einen Zusatzrahmen 105 als auch ein plattenartiges Gewicht 109 darin aufnimmt. Fig. 11 zeigt, daß im Fenster 103 mittig an den Innenflächen der einander gegenüberliegenden Y-Seiten (parallel zur Y-Achse senkrecht zur X-Achse) fest angebracht oder gebondet sind die Enden der Torsions-Lagerarme 107a, 107b für die X-Achse.

Der Zusatzrahmen 105 ist mittig an den Außenflächen seiner gegenüberliegenden Y-Seiten (senkrecht zur X-Achse verlaufend) fest verbunden bzw. gebondet mit den anderen Enden der Torsions-Lagerarme 107 für die X-Achse. Das bedeutet also, daß auch hier die Torsions-Lagerarme 107 für die X-Achse fest und integral verbunden bzw. gebondet sind zwischen den mittigen Positionen der Innenflächen der einander gegenüberliegenden Y-Seiten des äußeren festen Rahmens 101 und der Außenflächen der gegenüberliegenden Y-Seiten des Fensters 103 im äußeren festen Rahmen 101. Die Torsions-Lagerarme 107 für die X-Achse haben eine geringe Breite in Richtung parallel zur Y-Achse gesehen und haben dieselbe Dicke wie der äußere feste Rahmen 101. Diese Dicke wird in Z-Richtung gemessen. Dadurch sind die Torsions-Lagerarme 107 für die X-Achse hinsichtlich einer Torsions-Verwindung um die X-Achse elastischer und haben somit eine höhere Ansprechempfindlich-

keit. Der Zusatzrahmen 105 nimmt das plattenartige Gewicht 109 auf und hat die Mittelpunkte der Innenflächen an den einander gegenüberliegenden Seiten, die senkrecht zur Y-Achse verlaufen fest und integral verbunden oder gebondet mit den Enden der Torsions-Lagerarme 111a, 111b für die Y-Achse.

Auch hier weist das plattenartige Gewicht 109 eine flache, plattenartige Form auf und die Mittelpunkte der Außenflächen auf einander gegenüberliegenden Seiten, die senkrecht zur Y-Achse verlaufen sind fest und integral verbunden oder gebondet mit den anderen Enden der Lagerarme 111 für die Y-Achse. Die Lagerarme 111 für die Y-Achse sind also fest und integral verbunden oder gebondet zwischen den Mittelpunkten der Innenflächen der einander gegenüberliegenden X-Seiten (in X-Richtung verlaufend, also senkrecht zur Y-Achse) des Zusatzrahmens 105 und der Außenflächen der einander gegenüberliegenden X-Seiten des plattenartigen Gewichts 109. Jeder der Torsions-Lagerarme 111 für die Y-Achse ist schmal in Richtung parallel zur X-Achse und hat in Richtung parallel zur Z-Achse dieselbe Dicke wie der äußere feste Rahmen 101. Die Lagerarme 111 für die Y-Achse sind also elastisch hinsichtlich einer Torsion um die Y-Achse und haben insoweit eine hohe Ansprechempfindlichkeit bezüglich Winkelbeschleunigungen um die Y-Achse.

Aus den Fig. 11 und 12 ergibt sich, daß das plattenartige Gewicht 109 insgesamt einen Gewichtsabschnitt bildet und mit einer Mehrzahl von Elektroden 113a, b, c, d und 115a, b, c, d auf der Vorderseite oder der Rückseite an den X-Seiten und den Y-Seiten versehen ist.

Man kann auch im vorliegenden Ausführungsbeispiel die zuvor erläuterten Komponenten integral miteinander in einem Herstellungsprozeß herstellen, also den äußeren festen Rahmen 101, die Torsions-Lagerarme 107 für die X-Achse, den Zusatzrahmen 105, die Torsions-Lagerarme für die Y-Achse 111 und das plattenartige Gewicht 109. Die Herstellung der zuvor erläuterten Komponenten aus einer einzigen Platte beispielsweise nach der Methode der anisotropen Ätzung führt dazu, daß die Komponenten von selbst ein und dieselbe Dicke in Z-Richtung haben können.

Fig. 12 zeigt ein Außengehäuse 125 aus einer Oberplatte 121 und einer Unterplatte 123. Das Außengehäuse 125 umgibt den äußeren festen Rahmen 101 so, daß es in Z-Richtung an den äußeren festen Rahmen 101 angrenzt. Die Platten 121, 123 haben jeweils eine flache, plattenartige Form mit jeweils einem konkaven Bereich an der Innenseite. Eine Mehrzahl von Elektroden 127a, b, c, d sind am Boden des konkaven Bereichs der Oberplatte 121 fest angebracht und korrespondieren zu einer Mehrzahl von Elektroden 113a, b, c, d, die feststehend an der oberen Oberfläche des plattenartigen Gewichts 109 angebracht sind. Am Boden des konkaven Bereichs der Unterplatte 123 befinden sich Elektroden 129a, b, c, d, die so fest angebracht sind, daß sie zu einer Mehrzahl von an der unteren Fläche des plattenartigen Gewichts 109 fest angebrachten Elektroden 115a, b, c, d korrespondieren. Hier sind folgende Elektroden folgenden Kondensatoren zugeordnet:

Elektroden 113a/127a — Kondensator C1  
 Elektroden 113b/127b — Kondensator C2  
 Elektroden 113c/127c — Kondensator C3  
 Elektroden 113d/127d — Kondensator C4  
 Elektroden 115a/129a — Kondensator C5  
 Elektroden 115b/129b — Kondensator C6  
 Elektroden 115c/129c — Kondensator C7  
 Elektroden 115d/129c — Kondensator C8.

Der Standardspalt der Kondensatoren C1 — C8 ist vom Abstand zwischen den Böden der konkaven Bereiche der Platten 121, 123 wie in Fig. 12 und Fig. 13 abhängig. Der äußere feste Rahmen 101 kann auch eine größere Dicke als das plattenartige Gewicht 109 haben. In diesem Fall kann man die konkaven Bereiche der Platten 121, 123 weglassen. Wie weiter oben schon für die vorigen Ausführungsbeispiele erläutert worden ist, kann man zur Verwindung mit den hier nicht dargestellten Auswerteschaltungen in entsprechenden Positionen Durchgangslöcher zu den Elektroden 127, 129 der Platten 121, 123 vorsehen, um die Elektroden richtig verdrahten zu können.

Wenn der zuvor erläuterte Beschleunigungssensor einer Winkelbeschleunigung um die Längsachse der Lagerarme 107 für die X-Achse ausgesetzt wird, so schwenkt das Gewicht 109 um die Längsachse der Lagerarme 107 und verwindet die Lagerarme 107 entgegen deren Torsionswiderstand. Das Gewicht 109 beendet die Schwenkbewegung in einer Winkelstellung, in der das Moment des Gewichts 109 die elastische Rückstellkraft der Torsions-Lagerarme 107 gerade nur noch kompensiert. Bei dieser Torsionsbewegung kann sich beispielsweise der Ist-Spalt der Kondensatoren C2, C8 erhöhen, so daß sich deren Kapazität verringert, während der Ist-Spalt der Kondensatoren C4, C6 sich verringert und somit die Kapazität erhöht. Schwenkt das Gewicht 109 in der Gegenrichtung um die Lagerarme 107, so tritt der umgekehrte Effekt auf. Wenn der Ist-Spalt der Kondensatoren C2, C8 sich verringert, so steigt deren Kapazität, die Kapazität der Kondensatoren C4, C6 verringert sich demgegenüber, da deren Ist-Spalt größer wird. Die Änderungen in den Kapazitäten der Kondensatoren C2, 4, 6, 8 wird in der Auswerteschaltung erfaßt und sowohl die Neigung als auch die Neigungsrichtung des Gewichts 109 wird daraus berechnet. Daraus läßt sich die Winkelbeschleunigung um die X-Achse, der der Beschleunigungssensor in diesem Beispiel ausgesetzt ist, errechnen.

Eine entsprechende Erläuterung gilt auch für eine Winkelbeschleunigung um die Y-Achse und damit um die Torsions-Lagerarme für die Y-Achse 111a, 111b. Hier tritt ein entsprechender Effekt ein, mit dem das Gewicht 109 um die Y-Achse schwenkt bis das aus der Winkelbeschleunigung resultierende Moment des Gewichts 109 gerade nur noch die ansteigende elastische Rückstellkraft der Torsions-Lagerarme 111 kompensiert. In dieser Position bleibt das Gewicht 109 stehen. Diese Schwenkbewegung verändert den Ist-Spalt der Kondensatoren C1, C7, der sich beispielsweise vergrößert, so daß deren Kapazitäten sich verringern. Demgegenüber vergrößern sich die Kapazitäten der Kondensatoren C3, C5, da deren Ist-Spaltweiten sich verringern. Schwenkt das plattenartige Gewicht 109 in der Gegenrichtung um die Längsachsen der Torsions-Lagerarme 111a, 111b, so tritt der

gegenteilige Effekt auf. Sinkt also die Spaltweite bei den Kondensatoren C1, C7, so steigt deren Kapazität, während die Kapazität der Kondensatoren C3, C5 wegen steigender Spaltweite sinkt. Die Änderung der Kapazitäten der Kondensatoren C1, C3, C5, C7 wird in der Auswerteschaltung erfaßt, so daß die Neigung und die Neigungsrichtung des plattenartigen Gewichts 109 berechnet werden kann. Dadurch kann dann letztlich die Winkelbeschleunigung um die Y-Achse, der der Beschleunigungssensor in diesem Berechnungsbeispiel ausgesetzt ist, berechnet werden.

Fig. 11 zeigt wieder eine Schwenkachse in der Winkelhalbierenden, Schwenkachse i (gestrichelt in Fig. 11). Es gilt dieselbe Erklärung wie bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 5. Bei Schwenkung um die i-Achse werden alle Lagerarme 107a, b, 111a, b auf Torsion beansprucht. Das Gewicht 109 bleibt bei einer Winkelstellung stehen, bei der das resultierende Moment des plattenartigen Gewichts 109 aus der Winkelbeschleunigung gerade von der resultierenden Rückstellkraft der Torsions-Lagerarme 107/111 ausgeglichen wird. Bei dieser überlagerten Schwenkbewegung um die Winkelhalbierende, die i-Achse, erhöhen sich beispielsweise die Ist-Spaltweiten der Kondensatoren C1, C2, C7, C8, so daß deren Kapazitäten sinken, während die Kapazitäten der Kondensatoren C3, C4, C5, C6 ansteigen, da deren Spaltweiten sinken. Bei umgekehrter Schwenkrichtung tritt der umgekehrte Effekt auf. Das bedeutet, daß eine sinkende Ist-Spaltweite bei den Kondensatoren C1, C2, C7, C8 deren Kapazitäten ansteigen läßt, während ansteigende Spaltweiten bei den Kondensatoren C3—C6 deren Kapazitäten sinken läßt. Die Änderungen der Kapazitäten der Kondensatoren C1—C8 werden gemessen und von der Auswerteschaltung ausgewertet, daraus wird die Neigung und die Neigungsrichtung des plattenartigen Gewichts 109 errechnet. Daraus wiederum läßt sich die Winkelbeschleunigung des plattenartigen Gewichts 109 um die i-Achse errechnen, die Winkel-Beschleunigung, der der Beschleunigungssensor insgesamt ausgesetzt ist.

Für das zuvor erläuterte Ausführungsbeispiel gilt also folgendes. Der Zusatzrahmen 105 ist mit den Innenflächen des äußeren festen Rahmens 101 über die Torsions-Lagerarme 107 für die X-Achse verbunden. Das plattenartige Gewicht 109 ist mit der inneren Fläche des Zusatzrahmens 105 über die Torsions-Lagerarme 111 für die Y-Achse verbunden. Das plattenartige Gewicht 109 hat eine zweckmäßige Form, die bezüglich beider Längsachsen der Torsions-Lagerarme 107 bzw. 111 symmetrisch ist. Das plattenartige Gewicht 109 weist Elektroden 113a—d und 115a—d auf, letztere an der in Fig. 11 sichtbaren Rückseite, erstere an der gegenüberliegenden Vorderseite.

Die Elektroden-Gruppen 113a—d einerseits und 115a—d andererseits können gedruckt (gedruckte Schaltung) hergestellt werden. Man kann also beide Elektrodengruppen 113a—d und 115a—d in einem bzw. in jeweils einem Druckdurchgang herstellen. Dadurch kann das Herstellungsverfahren des hier dargestellten Beschleunigungssensors sehr vereinfacht werden. Es ist auch einfach, die Elektroden auf diese Weise richtig zu verdrahten. Aufgrund der Symmetrie des plattenartigen Gewichts 109 bezüglich der X-Achse und der Y-Achse ist das Moment des Gewichts 109 bei einer gleichzeitigen Beeinflussung durch Winkelbeschleunigung um die X-Achse und die Y-Achse in gleicher Größe genau gleich bezüglich der X-Achse wie der Y-Achse. Daraus resultiert, daß bei simultaner Schwenkung des plattenartigen Gewichts um die X-Achse und die Y-Achse ein präziser Meßwert erreicht wird, ohne daß hier irgendwelche Fehler aufkommen. Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist es daher aufgrund der zuvor erläuterten Konstruktion des wesentlichen Kernbereichs des Beschleunigungssensors möglich, auf einen Kompensations-Schaltkreis in der Auswerteschaltung zu verzichten. Das verringert die Kosten der Herstellung eines Präzisions-Beschleunigungssensors erheblich.

Eine Modifikation des Beschleunigungssensors aus Fig. 11 ist in Fig. 14 in einer Fig. 11 entsprechenden Darstellung gezeigt. Hier haben wir jedoch eine andere Form des Zusatzrahmens 151 zu verzeichnen. Der hier dargestellte Zusatzrahmen 151 hat an jeder seiner gegenüberliegenden Seiten, die senkrecht zur X-Achse verlaufen, eine Einwölbung nach innen. Dadurch erhöht sich hier der Abstand zwischen der Außenfläche und der korrespondierenden Innenfläche des äußeren feststehenden Rahmens 101. Dadurch sind die Torsions-Lagerarme 107a' und 107b' länger als im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 11. Die so verlängerten Lagerarme 107' sind also empfindlicher gegenüber Winkelbeschleunigungen um die X-Achse und sind verbessert in ihren Ermüdungseigenschaften, aufgrund der vergrößerten Länge. In entsprechender Weise ist der Zusatzrahmen 151 an den senkrecht zur Y-Achse verlaufenden Außenseiten in der Mitte nach außen ausgewölbt. Dadurch steht hier ein größerer Abstand zwischen den Innenflächen des Zusatzrahmens 151 und den Außenflächen des plattenartigen Gewichts 109 zur Verfügung. Dieser größere Abstand führt dazu, daß die Länge der hier angeordneten weiteren Torsions-Lagerarme 111a' und 111b' für die Y-Achse größer ist als im Ausführungsbeispiel von Fig. 11. Auch diese Torsions-Lagerarme 111 haben daher eine höhere Elastizität, also eine höhere Ansprechempfindlichkeit und verbesserte Ermüdungseigenschaften aufgrund ihrer größeren Länge. Auf die Ausführungen zu den anderen Ausführungsbeispielen in diesem Zusammenhang darf verwiesen werden.

Auch im hier dargestellten Ausführungsbeispiel kann man den äußeren festen Rahmen 101, die Torsions-Lagerarme 107 für die X-Achse, den Zusatzrahmen 151, die Torsions-Lagerarme 111' für die Y-Achse und das plattenartige Gewicht 109 aus einem einzigen plattenartigen Element herstellen, beispielsweise durch anisotrope Ätzung.

Bei den zuvor erläuterten Ausführungsbeispielen und Modifikationen eines erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors ist folgendes zu beachten.

Bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 1 und 2 hat das plattenartige Gewicht ein Fenster im Mittelbereich, in dessen Mittelbereich wiederum eine mittige feststehende Platte angeordnet ist. Die Torsions-Lagerarme erstrecken sich zwischen den Mitten der einander gegenüberliegenden Innenflächen des Fensters des Gewichts und den Mitten der einander gegenüberliegenden Außenflächen der mittigen feststehenden Platte. Wenn der Beschleunigungssensor als Ganzes verkleinert wird durch Reduktion der Breite der mittigen feststehenden Platte, so können gleichwohl die Torsions-Lagerarme eine hinreichende Länge aufweisen. Das verbessert deren Ermüdungseigenschaften und verbessert damit bei vorgegebener Größe Qualität und Zuverlässigkeit des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors.

Wird bei dem zuvor angesprochenen Ausführungsbeispiel der Fig. 1 und 2 der Abstand zwischen der äußeren Umfangsfläche des plattenartigen Gewichts und der inneren Umfangsfläche des Außenrahmens reduziert, so kann die Gesamtlänge jedes Torsions-Lagerarms erhöht werden. Dadurch läßt sich die Ansprechempfindlichkeit des Beschleunigungssensors bezüglich Winkelbeschleunigungen verbessern, man erreicht also eine verbesserte Ansprechempfindlichkeit bei geringerer Baugröße eines Beschleunigungssensors.

Die Herstellung der Komponenten im wesentlichen Kernbereich des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors aus einem einzigen plattenartigen Element mit durchgehend gleicher Dicke führt nicht zur einer unproblematisch erreichbaren Dicken-Identität aller Komponenten, sondern führt auch dazu, daß die Übergänge von den Lagerarmen zum plattenartigen Gewicht mechanisch optimal hoch belastbar sind. Auch insoweit verbessern sich die Ermüdungseigenschaften der Torsions-Lagerarme bezüglich deren Torsion.

Das Ausführungsbeispiel in den Fig. 3 und 4 zeigt Ausnehmungen an den Außenflächen gegenüberliegender Seiten, die in X-Richtung des plattenartigen Gewichts verlaufen (senkrecht zur Y-Achse). Da man die Torsions-Lagerarme zwischen den Mittelpunkten der Ausnehmungen und den gegenüberliegenden Seiten (X-Seiten) des äußeren festen Rahmens integral anordnen kann, erhöht sich die Länge der Torsions-Lagerarme. Wird also der Beschleunigungssensor insgesamt in seiner Größe dadurch verringert, daß man die Tiefe der Ausnehmungen vergrößert, so kann gleichwohl die notwendige Länge der Torsions-Lagerarme beibehalten oder gar erhöht werden. Das ist vorteilhaft für die Ermüdungseigenschaften der Torsions-Lagerarme und führt zu einer verbesserten Qualität und Zuverlässigkeit des Beschleunigungssensors.

Da man die Gesamtlänge jedes Torsions-Lagerarms bei den den zuvor erläuterten Ausführungsbeispielen vergrößern kann, ohne den Abstand zwischen der äußeren Umfangsfläche des plattenartigen Gewichts und der inneren Umfangsfläche des äußeren feststehenden Rahmens zu vergrößern, verbessert man die Eigenschaften der Torsions-Lagerarme bezüglich deren Verwindung ohne daß der Beschleunigungssensor größer würde. Man hat also einen in der Größe deutlich verringerten Beschleunigungssensor mit gleicher oder größerer Ansprechempfindlichkeit.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel gemäß der Erfindung wie dargestellt in den Fig. 5 bis 7 ist ein Zusatzrahmen mit der äußeren Umfangsfläche der mittigen feststehenden Platte über Torsions-Lagerarme für die X-Achse verbunden. Diese Verbindung ist in Richtung der X-Achse ausgerichtet. Die äußere Umfangsfläche des Zusatzrahmens ist über Torsions-Lagerarme für die Y-Achse mit dem plattenartigen Gewicht verbunden, wobei letztere sich parallel zur Y-Achse erstrecken. Das plattenartige Gewicht weist in seiner Mitte ein Fenster auf, in dem sowohl die mittige feststehende Platte als auch der Zusatzrahmen angeordnet sind. Das plattenartige Gewicht hat eine zweckmäßige Form, die bezüglich der Längsachsen der Torsions-Lagerarme symmetrisch ist. Das plattenartige Gewicht weist auf seiner vorderen und hinteren Fläche (senkrecht zur Z-Achse verlaufend) entsprechende Elektroden auf. Man kann daher diese Elektroden flächig mit einer Drucktechnik aufbringen und in einem einzelnen Druckvorgang herstellen. Das Herstellungsverfahren eines solchen Beschleunigungssensors ist also sehr stark vereinfacht und sehr kostengünstig. Außerdem kann man die Verdrahtungstechnik bei der Herstellung eines solchen Beschleunigungssensors verbessern.

Auch im hier dargestellten Ausführungsbeispiel führt die Symmetrie des plattenartigen Gewichts bezüglich der X-Achse und der Y-Achse dazu, daß bei einer Winkelbeschleunigung, die um die X-Achse und Y-Achse etwa in gleicher Größe gleichzeitig auftritt, das Moment des plattenartigen Gewichts bezüglich der X-Achse etwa gleich dem Moment bezüglich der Y-Achse ist. Daraus resultiert, daß es mit geringen oder gar keinen Kompensationen möglich ist, eine präzise Berechnung der Winkelbeschleunigungen um die X-Achse und Y-Achse vorzunehmen. Man kann also bei dem insoweit dargestellten Ausführungsbeispiel zumeist auf eine Kompensationsschaltung verzichten, die im Stand der Technik wegen der asymmetrischen Gestaltung des plattenartigen Gewichts erforderlich war. Es ist also möglich, einen sehr präzise arbeitenden Beschleunigungssensor mit geringen Kosten herzustellen.

Bei dem Ausführungsbeispiel der Fig. 11 bis 13 ist ein Zusatzrahmen mit der inneren Umfangsfläche eines äußeren festen Rahmens über Torsions-Lagerarme für die X-Achse verbunden. Mit der inneren Umfangsfläche des Zusatzrahmens ist das plattenartige Gewicht verbunden, und zwar über in Y-Richtung sich erstreckende Torsions-Lagerarme für die Y-Achse. Auch hier hat das plattenartige Gewicht eine passend symmetrische Gestalt bezüglich beider Längsachsen der beiden Torsions-Lagerarme. Das plattenartige Gewicht hat Elektroden auf der vorderen und hinteren Frontfläche. Das hat die weiter oben erläuterten Vorteile hinsichtlich der Aufbringung der Elektroden in einer Drucktechnik (gedruckte Schaltung). Jede Gruppe von Elektroden kann in einem einzigen Durchgang hergestellt werden. Der Herstellungsprozeß eines Beschleunigungssensors gemäß der Erfindung ist folglich außerordentlich einfach. Außerdem wird damit die Verdrahtung der Elektroden bei der Herstellung des Beschleunigungssensors einfach.

Auch hier gilt die zuvor erläuterte Reaktion des symmetrischen plattenartigen Gewichts auf eine Winkelbeschleunigung simultan in etwa gleicher Größe um die X-Achse und die Y-Achse. Auch hier kann entsprechend auf eine Kompensationsschaltung verzichtet werden. Auch dieser Beschleunigungssensor läßt sich also bei hoher Präzision mit geringen Kosten herstellen.

Anhand der weiteren Zeichnungen gemäß der Fig. 15 bis 35 soll ein zweiter Aspekt der vorliegenden Erfindung beschrieben werden.

Die Fig. 15 bis 29 zeigen ein erstes Ausführungsbeispiel eines Beschleunigungssensors gemäß dem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung sowie Schritte eines Herstellungsverfahrens dazu.

Der Beschleunigungssensor des ersten Ausführungsbeispiels dieses Aspekts der Erfindung ist dreilagig kapazitiv ausgeführt mit einer Siliziumschicht eingespannt zwischen einem Paar von Glasschichten.

In anderen Worten ist das in Fig. 15 dargestellte Ausführungsbeispiel aufgebaut aus einer ersten Glas-Grundplatte bzw. einem Glas-Substrat 201, einem zweiten Glassubstrat 202 und, dazwischen sandwichartig eingeklemmt ein plattenartiges Gewicht 205 und ein Außenrahmen 206 sowie weitere ggf. notwendige Komponenten.



Die Glas-Substrate 201, 202 wirken jeweils als Isolations-Substrate. Das erste Glas-Substrat 201 ist, wie in Fig. 15 zu erkennen ist, mit einer Mehrzahl von durchsichtigen Elektroden 203a, b, c, d auf seiner in Fig. 15 unten liegenden Rückseite versehen. Diese Elektroden können vorzugsweise aus Indium-Zinn-Oxyd bestehen. Das zweite Glas-Substrat 202 weist eine Mehrzahl von transparenten Elektroden 203e, f, g, h an seiner in Fig. 15 oben liegenden Vorderseite auf. Die Elektroden der beiden Glas-Substrate 201, 202 liegen einander gegenüber, dazwischen ist allerdings ein Gewicht 211 angeordnet. Die Elektroden des einen Glas-Substrats 201 entsprechen in ihrer Lage also den Elektroden des anderen Glas-Substrats 202.

Jede der durchsichtigen Elektroden 203a—h hat eine im wesentlichen trapezförmige Gestalt, wobei die kurzen Parallelseiten der Trapeze der Mitte der Glas-Substrate 201, 202 zuweisen, so daß sich insoweit ein im wesentlichen rhombenförmiges Bild um den Mittelpunkt ergibt. Dies ist in Fig. 15 ohne weiteres zu erkennen.

Da sich die Elektroden 203a—d auf der Unterseite des ersten Glas-Substrats 201 befinden, sind sie in strichpunktiierten Linien (verdeckte Linien) dargestellt.

Das erste Glas-Substrat 201 weist eine Mehrzahl von Durchgangsöffnungen für die Durchführung von Verdrahtungen auf, Durchgangsöffnungen 204a—h. Diese korrespondieren in ihrer Lage zu einer Mehrzahl von Verbindungsabschnitten 214a—h innerhalb des Außenrahmens 206. In der Mitte des ersten Glas-Substrats 201 gibt es eine weitere Durchgangsöffnung 204i, deren Lage im wesentlichen der Endfläche oder Stirnfläche einer Stütze 207 entspricht.

Nicht dargestellt ist in der Zeichnung, daß in jede Durchgangsöffnung 204a—i ein Anschlußdraht und Packungsmaterial wie Aluminium od. dgl. Metall eingebracht ist, so daß ein ohmscher Kontakt zwischen dem Packungsmaterial und den entsprechenden Verbindungsabschnitten 214a—h, letztere bestehend aus Silizium, besteht.

Das plattenartige Gewicht 205 ist an der Vorderseite und der Rückseite flach, wobei die Vorderseite der Rückseite des ersten Glas-Substrats 201 und die Rückseite der Vorderseite des zweiten Glas-Substrats 202 gegenüberstehen. Im plattenartigen Gewicht 205 stellt die Stütze 207 ein im wesentlichen H-förmiges Element dar, das fest und integral verbunden oder gebondet mit dem Gewicht 211 verbunden ist, und zwar über Lagerarme 208, einen Lagerrahmen 209 und Lagerarme 210. Diese Komponenten und der Außenrahmen 206 bestehen aus Silizium (siehe Fig. 15). Wie in Fig. 15 dargestellt ist, laufen die X-Achse und die Y-Achse durch die Mitte der Stütze 207, d. h. die Mitte des Verbindungsabschnitts 207c, der später erläutert wird, und liegen parallel zu den einander gegenüberliegenden Stirnflächen des Verbindungsabschnitts 207c. Diese einander gegenüberliegenden Stirnflächen sind mit den beiden Glas-Substraten 201 und 202 fest verbunden bzw. gebondet. Die X-Achse und die Y-Achse liegen senkrecht zu der Z-Achse, die als Mittelachse des Verbindungsabschnitts verläuft.

Die Stütze 207 besteht aus zwei einander gegenüber angeordneten Stützelementen 207a, 207b, die sich in einer Richtung parallel zur X-Achse erstrecken, dem Verbindungsabschnitt 207c, durch die die Stützelemente 207a, 207b integral miteinander verbunden sind. Zwei jeweils einen rechteckigen Querschnitt aufweisende Lagerarme 208 erstrecken sich in einander entgegengesetzten Richtungen vom Verbindungsabschnitt 207c in Richtung der X-Achse. Fig. 16 zeigt, daß zwischen der Längsachse des Verbindungsabschnitts 207c und der Y-Achse ein Winkel von etwa  $19,5^\circ$  vorliegt, Winkel 01. Der Winkel zwischen der Längsachse des Verbindungsabschnitts 207c und der X-Achse beträgt folglich etwa  $109,5^\circ$ , dargestellt als 02 in Fig. 16.

Fig. 15 zeigt, daß die Lagerarme 208, die als erste Lagerelemente dienen, mit ihren voneinander weg weisenden äußeren Endabschnitten integral verbunden oder gebondet sind an den Lagerrahmen 209, und zwar so, daß der Lagerrahmen 209 die Stütze 207 rahmenartig umgibt. Parallelseiten des Lagerrahmens 209 verlaufen parallel zur X-Achse, während das andere Paar von Seiten des Lagerrahmens 209 um die zuvor genannten  $19,5^\circ$  gegenüber der Y-Achse geneigt verlaufen, so daß sie parallel zum Verbindungsabschnitt 207c der Stütze 207 verlaufen.

Jeder Lagerarm 210 hat einen im wesentlichen rechteckigen Querschnitt und stellt einen zweiten Torsions-Lagerarm dar. Jeder Lagerarm 210 erstreckt sich von einer der äußeren Flächen auf gegenüberliegenden Seiten des Lagerrahmens 209 nach außen in einer Richtung parallel zur Längsrichtung des Verbindungsabschnitts 207c der Stütze 207. Die gegenüberliegenden Seiten des Lagerrahmens 209 verlaufen ja parallel zu der X-Achse. Fest verbunden bzw. gebondet mit den äußeren Enden der Lagerarme 210 ist das Gewicht 211, dieses Teil ist das Gewicht im engeren Sinne. Jeder der Lagerarme 210 verläuft folglich auch in einem Winkel von etwa  $19,5^\circ$  geneigt gegenüber der Y-Achse, nämlich in der gleichen Richtung wie der Verbindungsabschnitt 207c.

Der Grund, warum sowohl der Verbindungsabschnitt 207c als auch die Lagerarme 210 im zuvor erläuterten Ausführungsbeispiel im Winkel von etwa  $19,5^\circ$  gegenüber der Y-Achse verlaufen liegt lediglich darin, daß diese Komponenten durch eine sogenannte nasse Ätztechnik hergestellt werden und auf (111)-Ebenen von Silizium liegen.

Das Gewicht im engeren Sinne, also das Gewicht 211 hat eine flache, plattenartige Form mit einander gegenüberliegenden parallelen Seiten parallel zur X-Achse und die verbleibenden parallelen Seiten parallel zu den Lagerarmen 210 verlaufend. Jede der Innenflächen des Gewichts 211 der einander gegenüberliegenden parallelen Seiten ist in der Mitte mit einer Ausnehmung versehen, so daß sich ein Paar von Ausnehmungen 212 ergibt. In diesen Ausnehmungen 212a, 212b sind die äußeren Enden der Lagerarme 210 fest und integral befestigt bzw. gebondet (Fig. 15).

Wie in Fig. 17 nun dargestellt ist, haben dieselbe Dicke die Lagerarme 208, der Lagerrahmen 209, die Lagerarme 210 und das Gewicht 211, wobei diese Dicke geringer ist als die Dicke der Stütze 207, wobei diese Dicken insgesamt immer in Z-Richtung gemessen werden. Das plattenartige Gewicht 205 (Gewicht im weiteren Sinne) mit der oben angegebenen Konstruktion liegt im Innenbereich des Außenrahmens 206, der ebenfalls eine flache, rahmenartige Form hat und eben den in Fig. 15 dargestellten außen umlaufenden Rahmen bildet.

Aus Fig. 18 ergibt sich, daß die Lagerarme 208 und 210, wie oben schon erläutert, im Querschnitt rechteckig

ausgeführt sind. Von der Querschnittsform dieser Lagerarme 208, 210 hängt die Empfindlichkeit des Beschleunigungssensors ab. Durch Bemessung des Querschnitts (und der Länge) der Lagerarme 208, 210 durch Bemessung der Breite  $b$  parallel zur X-Achse und der Höhe  $d$  parallel zur Z-Achse kann man die Elastizität und die Ermüdungseigenschaften dieser Torsions-Lagerarme einstellen.

Das Gewicht 211 und der Lagerrahmen 209 liegen parallel zu den transparenten Elektroden 203a—h solange der Beschleunigungssensor selbst keinen Beschleunigungen ausgesetzt ist. Fig. 19 zeigt nun die Anordnung des Gewichts 211 des Lagerrahmens 209 und der transparenten Elektroden 203a—h in der X-Y-Ebene. Jede der transparenten Elektroden 203a—h deckt hinreichend sowohl das Gewicht 211 als auch den Lagerrahmen 209 ab. Es ist darauf hinzuweisen, daß, wie Fig. 19 zeigt, die transparenten Elektroden 203a—d in durchgezogenen Linien dargestellt sind, wohingegen das plattenartige Gewicht 205 in verdeckten Linien strichpunktirt dargestellt ist. Die verbleibenden weiteren transparenten Elektroden 203e—h sind in der Darstellung von Fig. 19 weggelassen worden, ebenso sind weggelassen worden die Verbindungsabschnitte 214a—h, da diese Darstellung das Verständnis erschwert hätte.

Der Außenrahmen 206, der als umlaufender, geschlossener Rahmen ausgeführt ist, hat dieselbe Dicke wie die Stütze 207, gemessen in Richtung der Z-Achse. Der Außenrahmen 206 hat eine im wesentlichen quadratische Form mit außen und innen liegenden Umfangsflächen in der X-Y-Ebene. Der Außenrahmen 206 schließt eine umlaufende Öffnung zwischen den Glas-Substraten 201 und 202. Auch die innere Umfangsfläche hat im wesentlichen quadratische Form. In den einander schräg gegenüberliegenden Ecken des Außenrahmens 206 sind Rahmen-Ausnehmungen 213a, 213b angeordnet. Nahe dieser Rahmen-Ausnehmungen 213a, 213b, die in Fig. 15 gut zu erkennen sind, befinden sich die Verbindungsabschnitte 214a—d, jeweils aus Silizium bestehend und in der in den Fig. 15 und 19 erkennbaren Weise inselartig ausgeführt. Nächst der verbleibenden Ecken des Außenrahmens 206 befinden sich die weiteren Verbindungsabschnitte 214e—h ebenfalls in der Insel-Technik bzw. in Insel-Form wie die Verbindungsabschnitte 214a—d. Die Verbindungsabschnitte 214a—h haben im wesentlichen dieselbe Dicke wie die Stütze 207, gemessen in Z-Richtung.

Mit den Verbindungsabschnitten 214a—h verbunden sind die transparenten Elektroden 203a—h über passende Leiter, die beispielsweise aus Aluminium oder ähnlichem leitendem Material bestehen können.

Außerhalb des Beschleunigungssensors ist die Stütze 207 mittels eines passenden Anschlußdrahtes geerdet, der nach außen hin durch eine weitere Durchgangsöffnung 204i im ersten Glas-Substrat 201 herausgeführt ist.

Im dargestellten Ausführungsbeispiel bilden die transparenten Elektroden 203a—h und das Gewicht 211 eine Schaltung, deren Ersatzschaltbild in Fig. 20 dargestellt ist. Es werden dadurch Kondensatoren C1 bis C8 wie in Fig. 20 dargestellt gebildet. Im übrigen darf zum Verständnis dieser Gestaltung der Kondensatoren ergänzend auf die voranstehenden, insoweit sehr ausführlichen Ausführungen zu anderen Ausführungsbeispielen verwiesen werden.

Das Verfahren zur Herstellung eines Beschleunigungssensors gemäß der vorliegenden Erfindung mit der zuvor erläuterten Konstruktion wird nun nachfolgend mit Bezugnahme auf die Fig. 21 bis 24 erläutert.

Zur Herstellung des ersten Glas-Substrats 201 und der transparenten Elektroden 203a—d darauf wird zunächst das erste Glas-Substrat 201 einer Bearbeitung durch Funkenentladung unterzogen, so daß in diesem hauchdünnen Substrat die Durchgangsöffnungen 204a—i für die Anschlußdrähte ausgebildet werden. Es folgen dann die Herstellungsschritte der Fig. 21a, b, c, d. Die Positionen der Durchgangsöffnungen 204a—h für die Verbindungsdrähte, die in den Fig. 21a bis 21d dargestellt sind, entsprechen nicht zwingend den Positionen in Fig. 15 und Fig. 16, die entsprechenden Bezugszeichen sind nur aus Gründen der Praktikabilität verwendet worden.

Entsprechendes gilt für die Darstellungen in den Fig. 22, 23 und 24.

In einem folgenden Schritt unter Einsatz einer photolithographischen Technik wie in Fig. 21b dargestellt wird die Unterseite des ersten Glas-Substrats 201 vollständig mit einem Photolack 220 beschichtet mit Ausnahme der Bereiche, in denen die transparenten Elektroden 203a—d aufgebracht werden.

Im folgenden Verfahrensschritt gemäß Fig. 21c wird Indium-Zinn-Oxyd auf der Unterseite des ersten Glas-Substrats 201 beispielsweise mit Ionensputtering abgeschieden und dann mit Ausnahme der für die Bildung der transparenten Elektroden 203a, 203c notwendigen Bereiche unter Nutzung des Photolacks 220 wieder abgetragen.

Das zweite Glas-Substrat 202 hat etwa dieselbe Konstruktion wie das erste Glas-Substrat 201, jedoch fehlt es an den Durchgangsöffnungen 204. Im übrigen ist das zweite Glas-Substrat 202 aber Gegenstand entsprechender Bearbeitungen zur Ausbildung der transparenten Elektroden 203e—h auf der Vorderseite.

Die Fig. 22, 23 und 24 beschreiben die Herstellung des plattenartigen Gewichts 205 und des Außenrahmens 206.

Unter Nutzung von 110-Ebenen einer Silizium-Schicht oder eines Silizium-Substrats werden in einem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens die Lagerarme 208 und 210 auf 111-Ebenen des Silizium-Substrats ausgebildet. Fig. 22b zeigt, daß man die 110-Ebenen im Silizium-Substrat durch eine Nut 223 im Silizium-Substrat 222 markiert, um Fehler bei der Herstellung zu vermeiden. Die Nut 223 wird in den weiteren Zeichnungen jedoch nicht mehr gezeigt, um die Darstellung zu vereinfachen.

Die Fig. 22a und b zeigen die Verfahrensschritte zur Ausbildung der Nut 223 (Markierungsnut) im Silizium-Substrat 222. Die beiden einander gegenüberliegenden Oberflächen des Silizium-Substrats werden zunächst mit einer Beschichtung aus Silizium-Oxyd 224 versehen und dann einer Feucht-Oxydation unterworfen (ein thermischer Oxydationsprozeß). Die so gebildete Siliziumbeschichtung 224 hat eine Dicke von beispielsweise 0,5  $\mu$ . Das Silizium-Substrat 22 wird dann einem Photolackverfahren in Ätztechnik unterworfen, so daß die Silizium-Oxyd-Beschichtung 224 im Bereich A entfernt wird, wo die Nut 223 ausgeformt werden soll (Fig. 22a). Nachfolgend erfolgt die Ätzung der Nut 223 in der oberen Fläche des Silizium-Substrats 222, Tiefe ungefähr im Beispielsfall 5  $\mu$ . Danach kann die gesamte Silizium-Oxyd-Beschichtung 224 durch Ätztechnik entfernt werden, das Ergebnis

ist dann in Fig. 22b zu sehen.

In den Folgeschritten der Fig. 22c und d sowie 23a bis d werden Bereiche in der Oberfläche des Silizium-Substrats 222 schrittweise ausgeformt, die dem plattenartigen Gewicht 205, dem Außenrahmen 206 und den Verbindungsabschnitten 214a bis h entsprechen. Unnötige oder nicht benötigte Teile des Silizium-Substrats 222 werden dabei entfernt.

Details der zuvor erläuterten Verfahrensschritte werden weggelassen. Nur die wesentlichen Verfahrensschritte des Herstellungsverfahrens werden erläutert. Ein Herstellungsschritt dient der Bildung der Umriss der zuvor erläuterten Komponenten durch eine Photoätzung. Die verbleibenden Schritte dienen der schrittweisen Ausformung von Details dieser Komponenten. Die Ausbildung von Silizium-Oxyd-Beschichtungen 224 und die Ätzung des Silizium-Substrats 222 werden wiederholt, um schrittweise die zuvor erläuterten Komponenten auszubilden mit deren schließlich erreichter Form und Dicke. Das zeigen Fig. 22c und 22d sowie die Fig. 23a bis d.

Im Bereich B in Fig. 23d und C in Fig. 23d sind Bereiche eingeschnitten in einem Verfahrensschritt, der den zuvor erläuterten Verfahrensschritten folgt, um eine Gettersubstanz einführen zu können.

Danach werden das plattenartige Gewicht 205, der Außenrahmen 206 und die beiden Glas-Substrate 201, 202, die so ausgebildet worden sind, aufeinander gebondet.

Das Bonden der zuvor erläuterten Komponenten 205, 206, 201, 202 wird im hier dargestellten Ausführungsbeispiel mit einem konventionellen Anoden-Bonding-Verfahren durchgeführt. Dieses Verfahren hat folgende grundlegenden Verfahrensschritte:

Das Glas-Substrat wird auf eine vorgegebene hohe Temperatur aufgeheizt, das Silikon-Substrat wird dann geerdet oder auf einer bestimmten positiven Spannung gehalten und eine bestimmte negative Spannung wird an das Glas-Substrat angelegt. Durch elektrostatische Anziehung an der Grenzfläche von Glas-Substrat und Silikon-Substrat erfolgt dann das Bonding unter Nutzung der Konsistenz des stark erhitzten Glas-Substrats.

Während des zuvor erläuterten Bonding werden das plattenartige Gewicht 205 und die anderen Komponenten, die schon so angeordnet sind wie in Fig. 23d gezeigt an der vorderen Fläche des zweiten Glas-Substrats 202 angebracht, wo sich auch die transparenten Elektroden 203e—h befinden. Das Anoden-Bonding-Verfahren wird ausgeführt und die durch die Buchstaben B und C bezeichneten Bereiche werden mittels eines Schneidlasers weggeschnitten, um die Zuführungseingänge für ein Gettermittel auszubilden wie in Fig. 24a dargestellt.

Im zuvor erläuterten Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung wird ein plattenartiges Gewicht 205 in einem hermetisch abgeschlossenen und abgedichteten Raum aufgenommen, der von den beiden Glas-Substraten 201, 202 und dem Außenrahmen 206 gebildet wird. Dieser Innenraum wird auf etwa Atmosphärendruck in Meereshöhe gehalten.

Im zuvor erläuterten Verfahren werden während des Bonding des ersten Glas-Substrats 201 mit der zuvor erläuterten Technik in den Bondingabschnitten Gase erzeugt, durch die der Innenraum für das plattenartige Gewicht 205 unter höheren Druck gerät. Im zuvor erläuterten Ausführungsbeispiel wird dieses Problem dadurch gelöst, daß ein Gettermittel in den Innenraum des Beschleunigungssensors, also dem abgeschlossenen Raum für das plattenartige Gewicht 205, eingeleitet wird, bevor das Anoden-Bonding abläuft. Durch dieses Gettermittel sollen die während des Bonding erzeugten Gase absorbiert werden, so daß der abgeschlossene Raum für das Gewicht 205 letztlich auf dem gewünschten Druck bleibt. Im dargestellten und bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung wird ein nicht-flüchtiges Gettermittel verwendet (beispielsweise ein solches des Zr-V-Fe-Systems).

In der Praxis wird ein Gettermittel der Größe  $100 \times 2 \times 0,15$  mm in eine Mehrzahl von kleinen Teilchen geschnitten, jedes dieser Teilchen wird in Papier eingewickelt, so daß es insgesamt eine flache Form hat.

Das so eingeschlagene Gettermittel wird einer Behandlung mit Ultraschallwellen in einer Acetonlösung unterworfen, so daß Staub und sonstige störende Teile davon entfernt werden. Danach erfolgt eine Lufttrocknung oder eine verstärkte Trocknung mit heißer Luft mit einer Temperatur von bis zu  $50^{\circ}\text{C}$ . Danach wird das getrocknete Gettermittel dem interessierenden Bereich, insbesondere also dem zuvor angesprochenen geschlossenen Bereich zugeführt.

Danach wird das erste Glas-Substrat 201 auf den oberen Flächen des Außenrahmens 206 und der Stütze 207 wie in Fig. 24 gezeigt angebracht. Danach wird der Verfahrensschritt des Anoden-Bonding ausgeführt, so daß letztlich die Komponenten erstes Glas-Substrat 201, Außenrahmen 206, Stütze 207, Verbindungsabschnitte 214a—h und zweites Glas-Substrat 202 miteinander fest verbunden, nämlich gebondet sind.

Am Schluß werden dann die aus elektrisch leitendem Material bestehenden Anschlußdrähte 225 in die Durchgangsöffnungen 204a—i eingesteckt und diese Durchgangsöffnungen 204 dann ihrerseits mit dem passenden Packungsmaterial ausgefüllt, beispielsweise mit dem zuvor schon erwähnten Aluminium oder ähnlichem Material, und zwar mit einem Sputteringverfahren. Auf diese Weise ist es möglich, die Anschlußdrähte 225 mit den transparenten Elektroden 203a—h elektrisch zu verbinden. Fig. 24b zeigt den Endzustand des erfindungsge-  
mäßigen, nach dem zuvor erläuterten Verfahren hergestellten Beschleunigungssensors.

Natürlich kann man bei dem zuvor erläuterten Ausführungsbeispiel der Erfindung auch andere isolierende Substrate anstelle der Glas-Substrate 201, 202 verwenden. Auch ist es möglich, das Gewicht 211 unter Einsatz anderer passender Halbleiter oder Leiter herzustellen.

Unter Bezugnahme auf die Darstellungen in den Fig. 25 bis 29 soll nun die Betriebsweise des zuvor erläuterten Beschleunigungssensors näher erläutert werden.

Fig. 25 zeigt den Beschleunigungssensor in einer schematischen und perspektivischen Darstellung entsprechend der Darstellung in Fig. 19. Die Glas-Substrate 201, 202 liegen hier in dieser Darstellung parallel zur X-Y-Ebene. In Richtung des Pfeils in durchgezogenen Linien ist eine Linearbeschleunigung g wirksam.

Aufgrund der Massenträgheit des Gewichts 211 erfolgt eine Parallelverschiebung des Gewichts 211 in Richtung entgegen der Wirkungsrichtung der linearen Beschleunigung g in Fig. 25, so daß die Lagerarme 210 einer Verwindung ausgesetzt werden. Die lineare Verschiebebewegung des Gewichts 211 unter der Wirkung der

Massenträgheit entgegen der Beschleunigung wird in der Stellung beendet, in der die Trägheitskraft des Gewichts 211 gerade die elastische Rückstellkraft der verwundenen bzw. auf Biegung beanspruchten Lagerarme 210 nur noch ausgleicht, nicht mehr überschreitet. Da die Lagerarme 208 sich parallel zur X-Achse erstrecken, wird auf diese Lagerarme 208 bei dieser Wirkungsrichtung der linearen Beschleunigung keine Kraft ausgeübt, diese werden nicht gebogen bzw. tordiert.

Fig. 25 zeigt die Relativanordnung der transparenten Elektroden 203a—h gegenüber dem Gewicht 211. Bei der zuvor erläuterten Einflußlage verlagert sich das Gewicht 211 in Fig. 25 relativ zu den durchsichtigen Elektroden 203a—h nach links. Das ist durch die strichpunktierte Linie, die das Gewicht 211 umschließt, deutlich zu erkennen. Zur Verdeutlichung sind hier die Stütze 207 und der Lagerrahmen 209 weggelassen worden.

Um das Verständnis der Kapazitätsänderungen der Kondensatoren C1—C8 zu erleichtern, die von den transparenten Elektroden 203a—h und dem Gewicht 211 gebildet werden, werden hier die Kondensatoren C1—C8 so definiert, daß sie nicht nur von den transparenten Elektroden 203a—h und dem Gewicht 211, sondern auch von den flachen Flächenabschnitten des Lagerrahmens 209, der den Elektroden 203 zugewandt ist, und den flachen Oberflächenabschnitten der Lagerarme 208, 210, die den Elektroden 203 zugewandt sind, gebildet werden.

In der Praxis jedoch sind die beiden zuvor erläuterten flachen Oberflächenabschnitte, die den Elektroden 203 zugewandt sind, hinsichtlich der Größe gegenüber den Flächen des Gewichts 211 vernachlässigbar und beeinflussen daher die Kapazitäten der Kondensatoren C1—C8 in der Praxis praktisch nicht. Man kann daher in der Praxis die Kondensatoren C1—C8 so definieren, daß deren Kapazitäten von den Flächen abhängt, mit denen das Gewicht 211 den transparenten Elektroden 203a—h gegenübersteht. Die anderen Einflußgrößen des Lagerrahmens 209 und der Lagerarme 208, 210 können demgegenüber vernachlässigt werden.

Bei der in Fig. 25 dargestellten Anordnung wird der Kondensator C2 von der transparenten Elektrode 203b und dem entsprechenden Flächenabschnitt des Gewichts 211 gebildet. Der Kondensator C6 wird gebildet von der entsprechenden Fläche des Gewichts 211 und der transparenten Elektrode 203f. Die Kondensatoren C2, C6 werden in ihren Kapazitäten durch keine andere Komponente wesentlich beeinflusst, vielleicht mit Ausnahme der Lagerarme 208.

Der Kondensator C4 wird von der Elektrode 203d und der entsprechenden Fläche des Gewichts 211 gebildet, der Kondensator C8 von der Elektrode 203h und der entsprechenden Fläche des Gewichts 211. Die Kondensatoren C4, C8 zeigen bei der in Fig. 25 dargestellten linearen Beschleunigung g eine sinkende Kapazität. Fig. 26 macht deutlich, wie das Gewicht 211 zwischen den Kondensatoren C4 und C8 sandwichartig liegt, wobei die beiden Kondensatoren im wesentlichen gleich gestaltet sind. Das gilt auch für die beiden anderen Kondensatoren C2 und C6, die in Fig. 26 rechts angedeutet sind. Auch diese haben etwa dieselbe Charakteristik. Im Augenblick muß dabei die durchgezogene Linie links und rechts in Fig. 26 noch unbeachtet bleiben, die hat mit der dort angegebenen Vertikalbeschleunigung g in Richtung der Z-Achse zu tun, die später erläutert wird.

Wird der zuvor erläuterte Beschleunigungssensor einer linearen Beschleunigung parallel zur X-Achse ausgesetzt, so verändern sich die Kapazitäten der Kondensatoren C1, C5, C3 und C7 geringfügig um denselben Wert, der theoretisch vorberechnet werden kann. Man kann daher diese theoretisch errechenbaren Veränderungen bei der Auswertung der Messung unberücksichtigt lassen bzw. durch theoretische Berechnungen berücksichtigen, wenn man eine lineare Beschleunigung in Richtung der X-Achse mißt.

Letztlich kann man also in der Praxis die wirksame lineare Beschleunigung nach Betrag und Richtung allein aufgrund der Veränderungen in den Kapazitäten der Kondensatoren C4, C8 relativ zu den Kondensatoren C2 und C6 errechnen, das ist eine außerordentlich einfache Differenzberechnung.

Natürlich wirken die Kondensatoren C2, C4, C6, C8 in umgekehrter Richtung entsprechend, wenn eine lineare Beschleunigung entgegen der Richtung in Fig. 25 auftritt. In diesem Fall sinken die Kapazitäten der Kondensatoren C2, C6. Daraus läßt sich also die lineare Beschleunigung nach Betrag und Richtung messen.

Fig. 28 zeigt eine Meßkurve der Ausgangsspannung (Volt) gegenüber der linearen Beschleunigung (g) bei einem Beschleunigungssensor gemäß der Erfindung. Die Ausgangsspannung (Volt) ist abhängig von den Änderungen in den Kapazitäten eines der Kondensatoren oder mehrerer der Kondensatoren C1—C8.

Die Meßwerte in Fig. 28 sind durch Punkte dargestellt, die mit der dargestellten geraden Linie (im Regelfall nach der Methode der Abweichung der kleinsten Quadrate) verbunden werden. Diese Gerade stellt die charakteristische Meßkurve des Beschleunigungssensors gemäß der Erfindung dar.

Die Veränderungen der Kapazitäten jedes der Kondensatoren C1—C8 werden durch folgende Gleichung dargestellt:

$$C_g = C_0 \cdot (m \cdot l \cdot l \cdot l \cdot g) / (2 \cdot E \cdot b \cdot d \cdot d \cdot d \cdot d_0)$$

$C_g$  Kapazität des Kondensators unter Einfluß einer linearen Beschleunigung g bestimmter Größe

$C_0$  Anfangskapazität des Kondensators ohne Linearbeschleunigung

m Masse des Gewichts 211

l Länge eines jeden der Lagerarme 208, 210

g Betrag der linearen Beschleunigung

E Elastizitätsmodul jedes der Lagerarme 208, 210

b Breite jedes der Lagerarme 208, 210 (Fig. 18)

d Höhe jedes der Lagerarme 208, 210

$d_0$  Anfangsabstand zwischen dem Gewicht 211 und jeder der transparenten Elektroden 203a—h (Standardspalt).

Die Länge l jedes der Lagerarme 208, 210 wird folgendermaßen vorgegeben:

Für den Lagerarm 208 die Länge  $l_1$ , für den Lagerarm 210 die Länge  $l_2$ . Beide Längen sind in Fig. 19 eingetragen

und im dortigen Ausführungsbeispiel ist II kleiner als I2.

Die oben angegebene Gleichung macht folgendes deutlich:

Werden sowohl die Breite  $b$  als auch die Höhe  $d$  verringert, so erhöht sich die Kapazität  $C_g$ . Man kann also die Meßempfindlichkeit (weiter oben auch häufig als Ansprechempfindlichkeit bezeichnet) des Beschleunigungssensors dadurch verbessern, daß man jeden Lagerarm 208, 210 in seiner Querschnitts-Konfiguration verändert.

Noch spezieller ausgedrückt sollte z. B. die Höhe  $d$  verringert werden, um den Beschleunigungssensor in seiner Meßempfindlichkeit für lineare Beschleunigungen zu verbessern.

Wird beim Beschleunigungssensor gemäß Fig. 25 eine lineare Beschleunigung in Y-Richtung aufgebracht wie durch den Pfeil in gestrichelten Linien dargestellt ist, so verlagert sich das Gewicht 211 in Fig. 25 nach unten entgegen der Wirkungsrichtung der linearen Beschleunigung. Das entspricht der Reaktion des Gewichts 211 gegenüber der linearen Beschleunigung in X-Richtung. Bei dieser Wirkungsrichtung einer linearen Beschleunigung treten die Lagerarme 208 in Funktion, sie werden einer Biegebeanspruchung in Richtung entgegen der Wirkungsrichtung der linearen Beschleunigung unterworfen ähnlich wie das bei den Lagerarmen 210 bei einer X-Beschleunigung der Fall ist.

Hier treten nun Veränderungen der Kapazitäten der Kondensatoren C1, C5 entsprechend den Veränderungen der Kondensatoren C2, C6 und Veränderungen der Kondensatoren C3, C7 entsprechend den Veränderungen der Kondensatoren C4, C8 im zuvor erläuterten Beispiel auf. Man kann also auch insoweit die lineare Beschleunigung in Y-Richtung nach Betrag und Richtung ermitteln. Natürlich gilt das auch für die lineare Beschleunigung in Gegenrichtung bezüglich der Y-Achse, also entgegen dem in Fig. 25 gestrichelt dargestellten Pfeil. Hier verringern die Kondensatoren C1, C5 ihre Kapazität anstelle sie zu erhöhen. Für die Kondensatoren C3, C7 gilt entsprechendes. Es wird daraus deutlich, daß auch insoweit die lineare Beschleunigung, der der Beschleunigungssensor unterworfen ist, nach Betrag und Richtung bezüglich der Y-Achse ermittelt werden kann.

Fig. 26, die zuvor schon angesprochen worden ist, zeigt in vergrößerter Darstellung, ausschnittsweise Komponenten des Beschleunigungssensors, nämlich transparente Elektroden 203b, d, f, h und das Gegenstück für die Kondensatoren, das Gewicht 211. Hier kann man erkennen, was als Verlagerung resultiert, wenn eine lineare Beschleunigung in Richtung der Z-Achse auftritt. Diese lineare Beschleunigung in Z-Richtung ist in Fig. 26 durch den Pfeil in durchgezogenen Linien  $g$  angedeutet. Hier erfolgt eine Verlagerung des Gewichts 211 parallel zu sich selbst in Z-Richtung, jedoch dem Pfeil  $g$  entgegengerichtet. Bei der Verlagerung des Gewichts 211 aufgrund seiner Massenträgheit entgegen der Wirkungsrichtung der linearen Beschleunigung  $g$  werden alle Lagerarme 208, 210 gemeinsam einer Biegebeanspruchung unterworfen in einer Richtung entgegen der Wirkungsrichtung der linearen Beschleunigung. Die Verlagerung des Gewichts 211 endet in einer Stellung, in der die elastische Rückstellkraft der Lagerarme 208, 210 die aus der Trägheit des Gewichts 211 resultierende Kraft gerade kompensiert. Wie in Fig. 26 dargestellt ist, hat das Gewicht 211 die Anfangsstellung ohne lineare Beschleunigung mit gestrichelten Linien dargestellt, die Endstellung unter Einfluß der linearen Beschleunigung in durchgezogenen Linien dargestellt.

Als Ergebnis der linearen Beschleunigung des Beschleunigungssensors gemäß der Erfindung insgesamt, erhöht sich die Spaltweite zwischen Gewicht 211 und den transparenten Elektroden 203a—d während sich die Spaltweite zu den transparenten Elektroden 203e—h verringert. Die Kapazitäten der Kondensatoren C1—C4 verringern sich entsprechend während sich die Kapazitäten der Kondensatoren C5—C8 (unten in Fig. 25) erhöhen.

Natürlich gilt auch hier, daß eine Aufbringung einer linearen Beschleunigung entgegen der Pfeilrichtung in Fig. 26 zu einer umgekehrten Verlagerung des Gewichts 211 führt mit Erhöhung der Spaltweite zwischen dem Gewicht 211 und den transparenten Elektroden 203e—h und Verringerung zu den Elektroden 203a—d. In diesem Fall erhöhen sich die Kapazitäten der Kondensatoren C1—C4 während sich die Kapazitäten der Kondensatoren C5—C8 verringern.

Durch Messung der Änderungen der Kapazitäten der Kondensatoren C1—C8 kann man auch im Fall einer linearen Beschleunigung in Z-Richtung diese nach Betrag und Richtung ohne weiteres ermitteln.

Fig. 27 zeigt die transparenten Elektroden 203a, c, e, g und das Gewicht 211 in vergrößerter Darstellung. Auch hier ist wieder in gestrichelten Linien die Lage des Gewichts 211 ohne Wirkung einer Beschleunigung dargestellt. In durchgezogenen Linien dargestellt ist die Lage des Gewichts 211 relativ zu den Elektroden 203a, c, e, g bei Aufbringung einer Winkelbeschleunigung um die X-Achse, d. h. in Richtung des bogenförmigen Pfeils in Fig. 27. Das Gewicht 211 schwenkt dabei dann um die Längsachse der Lagerarme 208, so daß eine der einander gegenüberliegenden Seiten, die zwischen den Elektroden 203a und 203e liegt, sich der Elektrode 203a nähert, während die andere Seite des Gewichts 211 zwischen den Elektroden 203c und 203g sich der Elektrode 203g nähert. Das Gewicht 211 beendet die Schwenkbewegung in einer Stellung, in der die elastischen Rückstellkräfte der Lagerarme 208 die aus der Massenträgheit des Gewichts 211 resultierende Kraft gerade kompensieren. Letzteres zeigt Fig. 27 in durchgezogenen Linien. Die Stellung ohne Aufbringung einer Winkelbeschleunigung zeigt Fig. 27 in gestrichelten Linien.

Als Ergebnis der Aufbringung einer solchen Winkelbeschleunigung um die Längsachse der Lagerarme 208 erhöht sich die Kapazität der Kondensatoren C1 und C7, verringert sich jedoch die Kapazität der Kondensatoren C3 und C5.

Sofern die Winkelbeschleunigung um die Längsachse der Lagerarme 208 umgekehrt zur zuvor erläuterten Richtung aufgebracht wird, so schwenkt das Gewicht 211 entgegen der Richtung in Fig. 27 und die Lageveränderung ist genau umgekehrt. Im Ergebnis verringern sich die Kapazitäten der Kondensatoren C1 und C7, während sich die Kapazitäten der Kondensatoren C3 und C5 erhöhen.

Auch bei dem hier erläuterten Ausführungsbeispiel kann man also die Winkelbeschleunigung nach Betrag und Richtung auf der Grundlage der Änderungen der Kapazitäten der Kondensatoren C1, C3, C5 und C7 bestimmen.



Tritt eine Winkelbeschleunigung des Beschleunigungssensors um die Y-Achse auf, so treten im wesentlichen dieselben Effekte wie zuvor zur Winkelbeschleunigung um die X-Achse erläutert auf. Man kann sich anhand von Fig. 27 ohne weiteres klar machen, daß dann die Winkelbeschleunigung um die Längsachsen der Lagerarme 210 auftritt, wobei Fig. 26 die entsprechenden Kondensatoren C2, C4, C6, C8 zeigt. Man kann auch insoweit dann Betrag und Richtung der Winkelbeschleunigung ermitteln.

Fig. 29 zeigt eine grafische Darstellung, die die Ausgangsspannung (mV) gegenüber der Winkelgeschwindigkeit (deg/s) des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors aufträgt. Die Ausgangsspannung ist abhängig von der Veränderung der Kapazitäten eines der Kondensatoren C1 — C8.

Auch in Fig. 29 sind die tatsächlich gemessenen Werte als Punkte eingetragen und durch eine üblicherweise nach der Methode der kleinsten Quadrate ermittelte Kurve miteinander verbunden.

Das Verhältnis zwischen der Winkelgeschwindigkeit und den Veränderungen in der Kapazität jedes der Kondensatoren C1 — C8 wird durch folgende Gleichung dargestellt:

$$C\omega = \frac{C_0 \cdot (1 + 12 \cdot l \cdot m \cdot r \cdot \omega \cdot \omega)}{(G \cdot b \cdot d \cdot (b \cdot b + d \cdot d) \cdot d_0)}$$

$C\omega$  Kapazität des der jeweiligen Winkelgeschwindigkeit  $\omega$  ausgesetzten Kondensators  
 $C_0$  anfängliche Kapazität des Kondensators vor Einfluß der Beschleunigung

$m$  Masse des Gewichts 211

$l$  Länge des jeweiligen Lagerarms 208, 210

$\omega$  Winkelgeschwindigkeit

$G$  Schubmodul (Schermodul) jedes Lagerarms 208, 210

$b$  Breite jedes Lagerarms 208, 210 (Fig. 18)

$d$  Höhe jedes Lagerarms 208, 210

$d_0$  Standardspalt zwischen dem Gewicht 211 und jeder der Elektroden 203a — h.

Für den Lagerarm 208 gilt die Länge  $l_1$ , für den Lagerarm 210 gilt die Länge  $l_2$ . Beide Längen sind in Fig. 19 eingetragen und im dortigen Ausführungsbeispiel ist  $l_1$  kleiner als  $l_2$ .

Die oben angegebene Gleichung macht deutlich, daß die gegenüber Winkelbeschleunigungen relevante Kapazität  $C\omega$  ansteigt, wenn sowohl die Breite  $b$  als auch die Höhe  $d$  der Lagerarme 208, 210 verringert werden. Man kann also die Ansprechempfindlichkeit bzw. Meßempfindlichkeit des Beschleunigungssensors gegenüber Winkelbeschleunigungen durch Modifikation der Querschnittskonfiguration jedes Lagerarms 208, 210 verbessern.

Will man sowohl die Ansprechempfindlichkeit gegenüber Winkelgeschwindigkeit bzw. Winkelbeschleunigung als auch gegenüber linearen Beschleunigungen erhöhen, so sollte man die Breite  $b$  verringern (siehe die voranstehende Erläuterung zur Gleichung der linearen Beschleunigung auf Seite 48).

Da die Winkelbeschleunigung letztlich die Änderung der Winkelgeschwindigkeit ist (gemessen in  $\text{rad/s}^2$ ) kann man aus der gemessenen bzw. errechneten Winkelgeschwindigkeit auch die Winkelbeschleunigung ohne weiteres errechnen. (Man muß die Ableitung der Meßkurve der Winkelgeschwindigkeit errechnen.)

Normalerweise treten Winkelbeschleunigungen immer in Zusammenhang mit linearen Beschleunigungen auf. In der Mehrzahl der Fälle sind sie miteinander überlagert.

In der Anwendung des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors ist es vorteilhaft, wenn dieser in einer Winkelstellung von  $45^\circ$  bezüglich der Z-Achse eingebaut wird. Dies erleichtert die Analyse linearer Beschleunigungen und Winkelbeschleunigungen um jede Achse durch Bestimmung der Änderungen der Kapazitäten der Kondensatoren C1 — C8.

Mit Bezugnahme auf die Fig. 30 bis 33 soll nun ein zweites Ausführungsbeispiel des Beschleunigungssensors gemäß einem zweiten Aspekt der vorliegenden Erfindung beschrieben werden.

Der Beschleunigungssensor des zweiten Ausführungsbeispiels ist ein sogenannter Triplex-Sensor. Hier befindet sich ein Gewicht 232 sandwichartig zwischen zwei Glas-Substraten 230, 231 wie bei dem Beschleunigungssensor gemäß Fig. 15. Anders ist hier lediglich die Anordnung der Kondensatoren zur Bestimmung der linearen Beschleunigung und der Winkelbeschleunigung.

Fig. 30 zeigt die Z-Achse senkrecht zur Zeichenebene, die X-Achse horizontal und die Y-Achse vertikal.

Sandwichartig angeordnet zwischen den Glas-Substraten 230, 231 befindet sich das Gewicht 232, das in der zuvor erläuterten Weise verlagert wird, wenn der Beschleunigungssensor linearen Beschleunigungen und/oder Winkelbeschleunigungen ausgesetzt wird. Weiter unten wird beschrieben, wie eine Mehrzahl von Kondensatoren an den äußeren Umfangsbereichen des Gewichts 232 ausgeformt sind (Fig. 30, 31).

In der Mitte des Gewichts 232 eine mittige Stütze 233, deren einander gegenüberliegende Endflächen mit dem ersten und zweiten Glas-Substrat 230, 231 gebondet sind (Fig. 31).

Fig. 30 zeigt, daß Lagerarme 234 sich von den Mittelpunkten der Außenflächen zu entgegengesetzten Seiten in einer Richtung parallel zur Y-Achse erstrecken und schneiden die Längsachse der mittigen Stütze 233, die senkrecht zur Zeichenebene in Fig. 30 steht. Ein Lagerrahmen 235 von im wesentlichen quadratischem Querschnitt (Fig. 30) ist integral verbunden bzw. gebondet mit den äußeren Enden der Lagerarme 234. Diese äußeren Enden sind also mittig an den entsprechenden Seiten des Lagerrahmens 235 befestigt, diese Seiten verlaufen senkrecht zur Y-Achse in Fig. 30.

Ein weiteres Paar von Lagerarmen 236 erstreckt sich von den Mitten der Außenflächen an einander gegenüberliegenden Seiten des Lagerrahmens 235 in eine Richtung parallel zur X-Achse.

Die äußeren Enden der weiteren Lagerarme 236 sind mittig an den Innenseiten eines Fensters 232a im Gewicht 232 angebunden, dieses Fenster 232 hat ebenfalls im wesentlichen quadratische Form.

Das Gewicht 232 hat eine flache, rahmenartige Form und ist mit einer Mehrzahl von kammartigen Elektroden 237a, b, c, d an seiner äußeren Umfangsfläche versehen.

5 Jede der Kamm-Elektroden 237a—d besteht aus einer Mehrzahl von Elektrodenabschnitten 238, die sich in Richtung senkrecht zu der äußeren Umfangsfläche des Gewichts 232 von diesem nach außen erstrecken. Jeder Elektrodenabschnitt 238 hat eine flache, rechteckige Form in der X-Y-Ebene und der Y-Z-Ebene. Die Elektrodenabschnitte 238 sind parallel zueinander angeordnet und haben seitlich einen gleichen Abstand voneinander. Sie erstrecken sich senkrecht von der äußeren Oberfläche des Gewichts 232.

10 Die Lagerarme 234, der Lagerrahmen 235, die Lagerarme 236, das Gewicht 232 und die Kammelektroden 237a—d haben alle dieselbe Dicke in Z-Richtung gemessen. Diese Dicke ist geringer als die Höhe der mittigen Stütze 233 in Fig. 31. Alle Elemente wie die Stütze 233, die Lagerarme 234, 236, der Lagerrahmen 235, das Gewicht 232 und die Elektroden 237 werden gemeinsam integral aus einer einzigen Siliziumplatte durchgehend gleicher Dicke hergestellt.

15 Fig. 30 zeigt weiter eine Mehrzahl von Kammelektroden 239a—d, die außerhalb des Gewichts 232 angeordnet sind und dieses auf der Außenseite umgeben und in die Kammelektroden 237 eingreifen und mit diesen gemeinsam eine Mehrzahl von Kondensatoren bilden.

Die feststehenden Kammelektroden 239a—d bestehen auch aus Silizium. Fig. 32 zeigt daß jede Kammelektrode 239 eine Grundplatte 240 in quaderförmiger Gestalt aufweist. Mehrere Elektrodenabschnitte 241, die in der 20 Form den Elektrodenabschnitten 238 an den Kammelektroden 237 entsprechen, ragen von der vorderen Fläche der Grundplatte 240 senkrecht ab. Sie ragen also von der inneren Oberfläche der Kammelektroden 239 ab. Sie sind seitlich in gleichen Abständen zueinander angeordnet.

Die Grundplatte 240 hat dieselbe Dicke wie die mittige Stütze 233, gemessen in Richtung der Z-Achse. Die Grundplatte hat ihre einander gegenüberliegenden Seitenflächen gebondet mit den beiden Glas-Substraten 230, 231, wie das in Fig. 31 dargestellt ist.

Im dargestellten Ausführungsbeispiel hat jede Elektrode 237 insgesamt fünf Elektrodenabschnitte 238, während jede feststehende Kammelektrode 239 vier Elektrodenabschnitte 241 aufweist. Diese vier Elektrodenabschnitte 241 ragen also in die Zwischenräume zwischen den fünf Elektrodenabschnitten 238 und bilden die entsprechenden Kondensatoren.

30 Fig. 30 zeigt wie die Elektrodenabschnitte 238 der Kammelektroden 237 zwischen den Elektrodenabschnitten 241 der Kammelektroden 239 bzw. umgekehrt liegen.

Die einander flächenmäßig überlappenden vorderen Bereiche der Elektrodenabschnitte 238 der Elektroden 237 sind durch eine Standard-Spaltweite getrennt von den entsprechenden vorderen Abschnitten der Elektrodenabschnitte 241 der Kammelektroden 239 (Fig. 30).

35 Mit den zuvor erläuterten Kammelektroden gelingt es, die wirksame Elektrodenfläche in elektrischer Hinsicht groß zu machen, jedoch den Raum, den eine solche Elektrode einnimmt, zu minimieren.

Sind die mittige Stütze 233 und die Grundplatten 240 der feststehenden Kammelektroden 239 fest mit den Glassubstraten 230 und 231 gebondet und dazwischen sandwichartig eingefügt, so werden sowohl die mittige Stütze 233 als auch die Kammelektroden 239 mit nicht dargestellten externen Schaltkreisen über Anschlußdrähte verbunden. Diese Anschlußdrähte durchtreten entsprechende Durchgangsöffnungen 242 in dem ersten Glas-Substrat 230 (Fig. 31).

40 In jede Durchgangsöffnung 242 ist ein nicht dargestellter Anschlußdraht eingesetzt sowie Packungsmaterial beispielsweise Aluminium oder ein ähnliches elektrisch leitendes Material. Das ist weiter oben mit einem anderen Ausführungsbeispiel der Erfindung schon erläutert worden. Wesentlich ist, daß ein elektrisch leitender Kontakt zwischen dem Packungsmaterial und den entsprechenden Flächen der Stütze 233 und der Grundplatten 233 und den kammartigen Elektroden 239 verbunden.

Die Stütze 233 ist außerhalb durch einen Anschlußdraht geerdet (nicht dargestellt). Die am Gewicht 232 befindlichen Kammelektroden 237 und die feststehenden Kammelektroden 239 sind im Ergebnis so geschaltet wie das das Ersatzschaltbild bezüglich der Kondensatoren C1—C4 in Fig. 33 zeigt.

45 Alle Bestandteile des Beschleunigungssensors wie die Stütze 233, die Lagerarme 234, 236, der Lagerrahmen 235, das Gewicht 232, die Kammelektroden 237 und die feststehenden Kammelektroden 239 werden zwischen dem ersten und zweiten Glas-Substrat 230, 231 hermetisch abgedichtet untergebracht. Eine nicht dargestellte Öffnung zwischen dem ersten und zweiten Glas-Substrat 230, 231 wird durch ein passendes Teil aus Silizium od. dgl. geschlossen.

55 Natürlich ist es auch bei diesem Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors möglich, die beiden Glas-Substrate 230, 231 durch irgendwelche anderen Platten aus entsprechend geeignetem isolierenden Material zu ersetzen. Auch das Gewicht 232 aus Silizium kann durch andere Materialien wie Halbleiter und Leiter ersetzt werden.

60 Die Betriebsweise des zuvor erläuterten Ausführungsbeispiels wird nachfolgend erläutert.

Wenn der Beschleunigungssensor einer linearen Beschleunigung in Richtung parallel zu der Z-Achse ausgesetzt wird, so bewegt sich das Gewicht 232 in Gegenrichtung relativ zu dem der Beschleunigung unterworfenen Beschleunigungssensor. Das Gewicht 232 verlagert sich bis in eine Position, in der die Trägheitskraft des Gewichts 232 gerade durch die elastischen Rückstellkräfte der Lagerarme ausgeglichen wird, die unter dem 65 Einfluß der linearen Beschleunigung elastisch gebogen werden.

Die Elektrodenabschnitte 238, 241 der beweglichen und feststehenden Kammelektroden 237a—d und 239a—d verlagern sich so gegeneinander, daß deren miteinander in Überdeckung befindlichen Flächen geringer werden. Entsprechend verringert sich die Kapazität der Kondensatoren C1, C2, C3 und C4. Damit ist es möglich, den

Absolutwert der linearen Beschleunigung in Z-Richtung zu bestimmen.

Eine Winkelbeschleunigung um die Y-Achse führt zur elastischen Torsion der Lagerarme 234 unter dem Einfluß des sich um die Y-Achse schwenkenden Gewichts 232, das um die Längsachsen der Lagerarme 234 schwenkt.

Wird der Beschleunigungssensor in diesem Beispiel in Fig. 31 einer Beschleunigung im Uhrzeigersinn ausgesetzt, so wird die linke Hälfte des Gewichts 232 relativ zu der mittigen Stütze 233 nach unten verlagert (entgegen der Wirkungsrichtung der Winkelbeschleunigung) aufgrund der Trägheit des Gewichts 232, während die rechte Hälfte des Gewichts 232 um denselben Wert nach oben verlagert wird. Das Gewicht 232 beendet diese Verlagerungsbewegung (Schwenkbewegung) in einer Position, in der die aus der Trägheit resultierende Kraft gerade von der Rückstellkraft der so auf Torsion beanspruchten Lagerarme 234 ausgeglichen wird.

Die Elektrodenabschnitte 238, 241 der beweglichen und feststehenden Kammelektroden 237b, d; 239b, d verringern ihre Überdeckungsfläche, so daß die Kapazitäten der Kondensatoren C2 und C4 abnehmen. Bei dieser Bewegung verringert sich auch die Überdeckungsflächen der Elektrodenabschnitte 238, 241 der beweglichen und feststehenden Kammelektroden 237a, c; 239a, c, so daß auch die Kondensatoren C1, C3 ihre Kapazitäten verringern. Der Absolutwert dieser Verringerung ist aber wesentlich geringer als bei den Kondensatoren C2, C4, da die Verlagerung der Kammelektroden 237a, c wesentlich geringer ausfällt als die der Kammelektroden 237b, d.

Im Ergebnis kann man das Ausmaß der Winkelbeschleunigung um die Y-Achse durch Vergleich der Änderungen der Kapazitäten der Kondensatoren C1, C3 und C2, C4 ermitteln.

Auf der anderen Seite werden die Lagerarme 236 elastisch verwunden, wenn eine Winkelbeschleunigung um die X-Achse auftritt. Das Gewicht 232 schwenkt dann nämlich um die Längsachsen der Lagerarme 236. Der damit ausgelöste Effekt entspricht im wesentlichen dem zuvor erläuterten Effekt bei einer Winkelbeschleunigung um die Y-Achse. Hier liegen umgekehrte Verhältnisse wie zuvor insoweit vor als die Kapazitätsänderungen der Kondensatoren C1, C3 größer ausfallen als die Kapazitätsänderungen der Kondensatoren C2, C4. Man kann also auf diese Weise feststellen, daß hier eine Winkelbeschleunigung um die X-Achse aufgetreten ist und kann deren Absolutwert feststellen.

Die Spaltweiten zwischen den Elektrodenabschnitten 238 der Kammelektroden 237 und den Elektrodenabschnitten 241 der Kammelektroden 239 werden so gewählt, daß einander benachbarte Elektrodenabschnitte sich nicht berühren können innerhalb des Einsatzbereiches des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors hinsichtlich linearer Beschleunigungswerte und Werten von Winkelbeschleunigungen.

Generell geht mit einer Winkelbeschleunigung auch eine lineare Beschleunigung einher, meistens sind diese miteinander überlagert.

Verschiedene Arten von linearen Beschleunigungen und Winkelbeschleunigungen lassen sich selbst dann identifizieren, wenn diese Beschleunigungen den Beschleunigungssensor gleichzeitig beaufschlagen. Dies kann man dadurch erreichen, daß man zuvor Veränderungen in den Kapazitäten der Kondensatoren C1—C4 für Bewegungen analysiert, die aus nach Betrag und Richtung bekannten Beaufschlagungen des Beschleunigungssensors mit linearen Beschleunigungen und/oder Winkelbeschleunigungen resultieren.

Mit dem zuvor erläuterten erfindungsgemäßen Beschleunigungssensor kann man also die lineare Beschleunigung in einer Richtung (Z-Richtung) sowie die Winkelbeschleunigungen um zwei Achsen (X-Achse, Y-Achse) messen.

Die Empfindlichkeit des Beschleunigungssensors gemäß der Erfindung kann man dadurch modifizieren, daß man den Querschnitt der Lagerarme 234, 236 in Z-Richtung modifiziert.

Nunmehr wird ein weiteres, ein drittes Ausführungsbeispiel der Erfindung gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung mit Bezugnahme auf Fig. 34, 35 erläutert.

Bei diesem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist das Gewicht zwischen zwei Glas-Substraten sandwichartig eingebracht. Transparente Elektroden sind auf den Glas-Substraten angebracht und wirken mit dem Gewicht so zusammen, daß sich dazwischen eine übliche Anzahl von Kondensatoren bildet. Insoweit hat auch das dritte Ausführungsbeispiel der Erfindung im wesentlichen die Konstruktion des Beschleunigungssensors gemäß Fig. 15. Ein Unterschied liegt in der Vorgabe einer Mehrzahl von Durchgangsöffnungen in vorgegebenen Positionen bei diesem dritten Ausführungsbeispiel, mit denen die Kapazitäten der Kondensatoren eingestellt werden können.

Hier ist ein Gewicht 250 vorgesehen in ähnlicher Weise wie in Fig. 30. In bestimmtem Ausmaß werden also die Bezugszeichen aus Fig. 30 auch in Fig. 34 verwendet. Deren Erläuterung entfällt bei Fig. 34. Demgegenüber werden die Unterschiede der Ausführungsbeispiele der Fig. 30 und 34 herausgearbeitet.

Das in Fig. 34 vorhandene, aus Silizium bestehende Gewicht 250 hat im wesentlichen rechteckige Form mit vier Seiten D, E, F, G. In jeder der Seiten befinden sich mehrere Durchgangsöffnungen 251.

Mehrere Kammelektroden 254a—h sind an inneren Flächen jeder der Glas-Substrate 252, 253 angebracht, so daß die vier Seiten D, E, F, G des Gewichts 250 dazwischen sandwichartig angeordnet sind. Die Elektroden 254 sind nach außen hin mit passenden Anschlußdrähten zu entsprechenden Schaltkreisen kontaktiert, was nicht dargestellt ist.

Jede der Durchgangsöffnungen 251 im Gewicht 250 ist in einer Position angeordnet bezüglich der Mitte angrenzender Zweigabschnitte 255 der transparenten Kammelektroden 254a—h in einer Position des Gewichts 250, das von jeder Beschleunigung frei ist. Die transparenten Kammelektroden 254a—d am ersten Glas-Substrat 252 sind in Fig. 34 in gestrichelten Linien eingezeichnet.

Die zentrale Stütze 233 ist außen geerdet, so daß die Kondensatoren C1—C8 zwischen den transparenten Kammelektroden 254a—h und den entsprechenden Oberflächen des Gewichts 250 realisiert sind.

Bei dem zuvor erläuterten Ausführungsbeispiel eines Beschleunigungssensors geschieht bei einer linearen Beschleunigung in Richtung des Pfeils links in Fig. 35a, Beschleunigung g in Richtung der X-Achse, folgendes.

Das Gewicht 250 wird entgegen der Pfeilrichtung gegenüber den Glas-Substraten 252, 253 nach links verschoben aufgrund seiner Massenträgheit und hält in der Position an, in der die auftretenden Kräfte einander ausgleichen. Man erkennt nun in Fig. 35b, daß jede Durchgangsöffnung 251 im Gewicht 250 in eine Position verlagert wird, die etwa in der Mitte eines Zweigabschnittes 255 der transparenten Kammelektrode 254a—h liegt.

Erreicht das Gewicht 250 in diesem Ausführungsbeispiel seine maximale Auslenkung, die in Fig. 35b dargestellt ist, so liegen die Durchgangsöffnungen 251 im Gewicht 250 genau zwischen den transparenten Kammelektroden 254a, e und 254c, g, letzteres in Fig. 35 dargestellt. Sobald die Auslenkung des Gewichts 250 sich verringert, verringert sich auch die Überlappung der Durchgangsöffnungen 251 mit den Zweigabschnitten 255 der Kammelektroden 254.

Das Resultat der zuvor getroffenen und beschriebenen Maßnahme ist, daß die Kapazitäten der Kondensatoren C1, C3, C5, C7 sich ändern, so daß man die lineare Beschleunigung auch in ihrem Betrag ermitteln kann.

Wird der Beschleunigungssensor einer linearen Beschleunigung in Richtung parallel zur Y-Achse ausgesetzt, so verändern die Kondensatoren C2, C4, C6, C8 ihre Kapazitäten wie oben für die anderen Kondensatoren der X-Achse erläutert. Das entspricht der obigen Erläuterung.

Wie zuvor erläutert worden ist, erreichen die Durchgangsöffnungen 251 eine Beeinflussung der Kapazität der Kondensatoren. Zusätzlich dämpfen sie die Verlagerungsbewegung des Gewichts 250. Die Bewegung des Gewichts 250 kann also letztlich durch die Anzahl der Durchgangsöffnungen 251 im Gewicht 250 gesteuert werden.

Wird der Beschleunigungssensor der vorliegenden Erfindung in Z-Richtung mit einer linearen Beschleunigung beaufschlagt, so bewegt sich das Gewicht 250 in Gegenrichtung relativ zu den anderen Teilen des Beschleunigungssensors aufgrund seiner Trägheit. Wie sich aus den Fig. 35a, b ergibt, so verringert sich die Ist-Spaltweite zwischen der Kammelektrode 254g und dem Gewicht 250, während sich die Ist-Spaltweite zwischen der Kammelektrode 254c und dem Gewicht 250 vergrößert (Fig. 35b). Die Kapazitäten der Kondensatoren aus den transparenten Kammelektroden 254e, f, g, h vergrößern sich, während sich die Kapazitäten der Kondensatoren aus den Kammelektroden 254a, b, c, d, jeweils gegenüber dem Gewicht 250, verringern. Man kann also hier Betrag und Richtung der linearen Beschleunigung in Z-Richtung feststellen.

Wenn in Fig. 34 eine Winkelbeschleunigung um die X-Achse entgegen dem Uhrzeigersinn auf den Beschleunigungssensor ausgeübt wird, so schwenkt das Gewicht 250 um die Längsachse der Lagerarme 236 im Uhrzeigersinn unter dem Einfluß seiner Massenträgheit, alles gegenüber der Stütze 233. Bezogen auf die Zeichenebene von Fig. 34 bewegt sich die obere Hälfte des Gewichts 250 nach unten und die untere Hälfte des Gewichts 250 nach oben. In der Folge erhöht sich die Kapazität der Kondensatoren C3, C5, verringert sich jedoch die Kapazität der Kondensatoren C1, C7, so daß man also sowohl Betrag als auch Richtung der Winkelbeschleunigung bestimmen kann.

Bei umgekehrter Aufbringung der Winkelbeschleunigung, also im Uhrzeigersinn, erfolgt die Relativbewegung des Gewichts 250 entgegen dem Uhrzeigersinn um die Längsachse der Lagerarme 236. Die Kapazitäten der Kondensatoren C1, C7 erhöhen sich, während sich die Kapazitäten der Kondensatoren C3, C5 verringern. Man kann also im Ergebnis Betrag und Richtung der Winkelbeschleunigung feststellen.

Wird der Beschleunigungssensor einer Winkelbeschleunigung um die Y-Achse unterworfen, so erfolgt die Relativ-Schwenkung des Gewichts 250 um die Längsachse der Lagerarme 234, im übrigen aber wie zuvor erläutert.

Bei dem zuvor erläuterten Ausführungsbeispiel kann man also Betrag und Richtung der Winkelbeschleunigung um die Y-Achse und um die X-Achse ermitteln.

Tritt eine Winkelbeschleunigung um die Z-Achse auf, so werden die Lagerarme 234 sowie die Lagerarme 236 auf Biegung beansprucht. Sie verformen sich elastisch, um das Gewicht 250 seiner Trägheit folgend in einer Richtung entgegen der Richtung der Winkelbeschleunigung schwenken zu lassen. Das Gewicht 250 schwenkt in diesem Fall also um die Längsachse der zentralen Stütze 233. Das hat zur Folge, daß die Überdeckungsflächen der Bereiche der Durchgangsöffnungen 251 und der transparenten Elektroden 254a—h sich verändern.

Die Kondensatoren C1—C8 verringern ihre Kapazitäten bei einer Verlagerung des Gewichts 250, man kann also bei der Winkelbeschleunigung um die Z-Achse jedenfalls den Betrag ermitteln.

Der zuvor erläuterte, relativ einfach aufgebaute Beschleunigungssensor gemäß dem zweiten Aspekt der Erfindung ist in der Lage, die lineare Beschleunigung in zumindest zwei Richtungen und die Winkelbeschleunigung um drei Achsen festzustellen. Dieser Beschleunigungssensor spart eine Vielzahl von Komponenten und ist daher zu geringen Kosten herzustellen. Ansonsten müßten nämlich mehrere Beschleunigungssensoren für die verschiedenen Richtungen und Bewegungen eingesetzt werden.

Auch bei diesem Ausführungsbeispiel der Erfindung, wie beim Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 15, kann man die Empfindlichkeit des Beschleunigungssensors durch Einstellung des Querschnitts jedes der Lagerarme 234, 236 definieren.

Natürlich kann man auch bei diesem Beschleunigungssensor anstelle der Glas-Substrate 252, 253 Platten anderen Materials, das elektrisch isolierend ist, einsetzen. Man kann ebenfalls das Gewicht 250 durch ein anderes Gewicht aus anderem Material beispielsweise einem Halbleitermaterial oder einem elektrisch leitendem Material ersetzen.

Bei dem zuvor erläuterten Beschleunigungssensor besteht das Gewicht aus Halbleitermaterial oder elektrisch leitfähigem Material und ist zwischen einem Paar von isolierenden Substraten so sandwichartig eingesetzt, daß es gleichwohl beweglich ist. Bei der Herstellung des Gewichts aus einem Halbleitermaterial kann man ein Mikrobearbeitungsverfahren bei der Herstellung einsetzen. Das bedeutet, daß man solche Beschleunigungssensoren in sehr großem Maßstab in der Massenproduktion kostengünstig herstellen kann.

Erfindungsgemäß kann ein einziger Beschleunigungssensor der vorliegenden Konstruktion mindestens eine

lineare Beschleunigung zusammen mit Winkelbeschleunigungen um zumindest zwei Achsen erfassen. Will man also Informationen für die linearen Beschleunigungen und die Winkelbeschleunigungen um alle denkbaren Achsen bzw. in alle denkbaren Richtungen bei einem sich bewegendem Objekt wie einem Kraftfahrzeug in einem dreidimensionalen Koordinatensystem erfassen, so kann man diese Anforderungen durch Kombination von lediglich drei erfindungsgemäßen Beschleunigungssensoren realisieren. Damit ist die Zahl der für eine allumfassende Bewegungserfassung erforderlichen Beschleunigungssensoren erheblich geringer als bei aus dem Stand der Technik bekannten Beschleunigungssensoren.

Auch den zuvor erläuterten Beschleunigungssensor kann man nach dem Verfahren gemäß der Fig. 21a bis 24b herstellen. Bei der hermetischen Abdichtung des Innenraums des Beschleunigungssensors werden auch hier Gase, die im Beschleunigungssensor erzeugt werden, durch ein Gettermittel eingefangen, so daß der Innendruck im Beschleunigungssensor nicht variiert. Mit diesem Gettermittel wird erreicht, daß der Beschleunigungssensor eine hervorragende Qualität und eine hervorragende Reproduzierbarkeit auch bei Großserienproduktion zeigt.

Bei dem Beschleunigungssensor des zweiten Ausführungsbeispiels gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung sind die Elektroden sowohl auf dem Gewicht als auch am feststehenden Rahmen kammartig ausgeführt und einander gegenüber angeordnet. Das erhöht die Überdeckungsflächen, ohne den Gesamttraumbedarf des Beschleunigungssensors zu erhöhen. Die Gesamtkapazität des Beschleunigungssensors wird erhöht, die Empfindlichkeit des Beschleunigungssensors verbessert, ohne daß eine Vergrößerung erforderlich ist.

Bei einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung sind die Kondensatoren zwischen den Elektroden und korrespondierenden glatten Oberflächen des Gewichts ausgebildet. Zusätzlich zu Veränderungen der Kapazitäten der Kondensatoren aufgrund von Veränderungen der Spaltweite zwischen den Elektroden und den flachen Oberflächen, die auftritt, wenn das Gewicht sich verlagert, können hier zusätzliche Veränderungen der Kapazitäten der Kondensatoren durch die Verwendung von Kammelektroden und Durchgangsöffnungen in den glatten Oberflächen des Gewichts hervorgerufen werden. Damit ergeben sich dann Veränderungen der Kapazitäten auch dann, wenn sich das Gewicht nur in Richtung parallel zu den Elektroden verlagert, also eine Veränderung der Spaltweite nicht eintritt. Der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor gemäß diesem Aspekt der Erfindung kann also lineare Beschleunigungen in drei Richtungen und Winkelbeschleunigungen um zumindest drei Achsen unter Verwendung des denkbaren Minimums an Komponenten erfassen. Die Herstellungskosten einer umfassenden Beschleunigungsmessung wird durch Einsatz der erfindungsgemäßen Beschleunigungssensoren deutlich verringert.

Nun wird im folgenden noch ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung mit Bezugnahme auf die Fig. 36 bis 42, insbesondere 36 bis 38 erläutert.

In Fig. 36 entspricht die horizontale Linie der X-Achse, die vertikale Linie der Y-Achse und die Z-Achse ist die Senkrechte zur Zeichenebene.

Bei dem mehrachsigen Beschleunigungssensor werden das Gewicht und ähnliche Komponenten durch eine anisotrope Ätzung von polykristallinem Silizium-Substrat hergestellt.

Wie insbesondere aus Fig. 36 deutlich wird, hat das hier eingesetzte Gewicht 301a eine flach-plattenartige, rechteckige Form in der X-Y-Ebene. Bei diesem Ausführungsbeispiel hat das Gewicht im wesentlichen quadratische Form im Außenmaß und weist innen ein Fenster 302 im Mittelbereich auf. Auch das Fenster 302 ist im wesentlichen quadratisch geformt.

Das Gewicht 301a wird von einem Lagerarm 304a so gehalten, daß es sich in einem bestimmten Abstand von der oberen Fläche eines Silizium-Substrats 303a befindet.

Der Lagerarm 304a ist ein kreuzförmiges einteiliges Element mit einer ersten Achse 305 und einer zweiten Achse 306, die einander rechtwinklig schneiden. Die einander gegenüberliegenden äußeren Enden der ersten Achse 305 des Lagerarms 304a sind an den Mittelpunkten der korrespondierenden Innenwände 307a, 307b des Fensters 302 im Gewicht 301a gebondet. Die einander gegenüberliegenden Enden der zweiten Achse 306 des Lagerarms 304a sind jeweils an eine Stütze 308 gebondet. Aus Fig. 37 ergibt sich, daß die Stützen 308 senkrecht zur oberen Fläche des Silizium-Substrats 303a stehen und nach oben von dort abragen. Die Längsachse der ersten Achse 305 ist mit der horizontalen Mittellinie des Gewichts 301a, in Fig. 36 dargestellt, ausgerichtet. Man kann also das Ausmaß der Verlagerung des Gewichts 301a durch Einstellung der Länge der ersten Achse 305 und der zweiten Achse 306 beeinflussen, sowie durch Einstellung von Breite und Dicke der ersten und zweiten Achsen 305, 306. Dadurch kann man die Empfindlichkeit des Beschleunigungssensors einstellen.

Integral von einer äußeren Umfangsfläche des Gewichts 301a ragt eine Mehrzahl von lamellenartigen Elektrodenabschnitten 309 ab, wobei zwischen jeweils zwei benachbarten Elektrodenabschnitten 309 jeweils ein Elektrodenabschnitt 312a einer Elektrode 310a—f für die X-Achse und 311a—f für die Y-Achse angeordnet sind und so jeweils eine Kondensatoranordnung bilden.

Bei diesem Ausführungsbeispiel der Erfindung befinden sich drei Sätze von jeweils vier Elektrodensegmenten 309 an jeder der vier Außenseiten des Gewichts 301a, und zwar in vorgegebenen, gleichen Seitenabständen voneinander. Nicht nur die einzelnen Sätze von Elektrodenabschnitten, sondern in jedem Satz auch die einzelnen Elektrodenabschnitte 309 haben einen bestimmten, gleichen Abstand voneinander.

Jeder Elektrodenabschnitt 309 hat in der X-Z-Ebene oder in der Y-Z-Ebene eine im wesentlichen rechteckige Form, in der X-Y-Ebene, die in Fig. 36 zu sehen ist, jedoch eine lamellenartige Form.

Eine Mehrzahl von Elektroden 310a—f für die X-Achse und 311a—f für die Y-Achse sind an der oberen Oberfläche des Silizium-Substrats 303a fest angebracht, so daß sie das Gewicht 301a umgeben. Die Elektroden bestehen vorzugsweise aus polykristallinem Silizium. Im dargestellten Ausführungsbeispiel befinden sich die ersten drei Elektroden 310a, b, c der Elektroden 310a—f für die X-Achse und die weiteren drei Elektroden 310d, e, f auf einander gegenüberliegenden, parallel zur Y-Achse verlaufenden Seiten nahe dem Gewicht 301a.

Drei Elektroden 311a, b, c und weitere drei Elektroden 311d, e, f der Elektroden 311a—f für die Y-Achse befinden sich außerhalb des Gewichts 201a in dessen Nähe an einander gegenüberliegenden Seiten, die parallel



zur X-Achse verlaufen. Auch diese Elektroden bestehen aus polykristallinem Silizium.

Alle Elektroden 310a—f für die X-Achse und die Elektroden 311a—f für die Y-Achse bestehen jeweils aus drei parallelen Elektrodenabschnitten 312a, die sich in einem vorgegebenen seitlichen Abstand voneinander befinden und an der Innenfläche jeweils einer rechteckigen Grundplatte 312 angeordnet sind. Die Innenflächen erstrecken sich bei den Elektroden 310a—f für die X-Achse in Richtung parallel zur Y-Achse und bei den Elektroden 311a—f für die Y-Achse parallel zur X-Achse. Die Elektrodenabschnitte 312a erstrecken sich von den Innenflächen aus nach innen und haben im wesentlichen dieselbe Form wie die Elektrodenabschnitte 309 am Gewicht 301a, die oben beschrieben worden sind.

Wie sich aus Fig. 36 ergibt, befinden sich an jeder Grundplatte 312 die Elektrodenabschnitte 312a parallel zueinander und mit Abstand voneinander und sind alternierend angeordnet mit den entsprechend vorspringenden Elektrodenabschnitten 309 am Gewicht 301a.

Weiterhin haben die Elektroden 310 für die X-Achse und 311 für die Y-Achse die inneren Enden der Elektrodenabschnitte 312a so angeordnet, daß sich ein Restabstand zur äußeren Umfangsfläche des Gewichts 301a in vorgegebener Weise ergibt. Sie sind an der Oberfläche des Silizium-Substrats 303a fest angebracht wie das Fig. 37 darstellt.

Die für die Messung relevanten Kapazitäten ergeben sich zwischen jeder der Elektroden 310 und 311 einerseits und den entsprechenden Gruppen von Elektrodenabschnitten 309 am Gewicht 301a andererseits. Damit lassen sich lineare Beschleunigungen und Winkelgeschwindigkeiten aus Änderungen der zuvor erläuterten Kapazitäten errechnen.

Fig. 36 zeigt in gepunkteten Linien auf dem Silizium-Substrat 303a ein Paar von Winkelgeschwindigkeits-Elektroden (Winkel-Elektroden) 313a, b für die X-Achse, ebenfalls bestehend aus polykristallinem Silizium, angeordnet gegenüber den unteren Oberflächen einander gegenüberliegender Seitenabschnitte in X-Richtung des Gewichts 301a. Entsprechende Winkel-Elektroden 314a, b sind auch den Seitenabschnitten des Gewichts 301a in Richtung der Y-Achse zugeordnet. Die Winkel-Elektroden 313, 314, die für die Ermittlung von Winkelgeschwindigkeiten und damit Winkelbeschleunigungen dienen, wirken mit dem Gewicht 301a zur Bildung einer Kapazität zusammen. Veränderungen in der Größe der Kapazitäten dieser Winkel-Elektroden 313, 314 lassen auf entsprechende Winkelbeschleunigungen rückschließen.

Wird der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor einer linearen Beschleunigung aufwärts in Richtung senkrecht zur Zeichenebene in Fig. 36 unterworfen, so verlagert sich das Gewicht 301a wegen seiner Trägheit im Beschleunigungssensor nach unten.

Das Ergebnis der zuvor erläuterten Bewegung des Gewichts 301a besteht in geringeren Spaltweiten zwischen dem Gewicht 301a und den Winkel-Elektroden 313a, b für die X-Achse wie auch für 314a, b für die Y-Achse. Man kann also daraus das Ausmaß der Linearbeschleunigung in Richtung der Z-Achse auf der Grundlage der Änderungen der Kapazitäten in einem Auswerteschaltkreis ermitteln. Das kann man nur über die Winkel-Elektroden 313 oder nur über die Elektroden 314, ggf. aber auch über beide tun.

Bei einer linearen Beschleunigung senkrecht zur Zeichenebene in Fig. 36 nach unten gerichtet verlagert sich das Gewicht 301a entgegengesetzt nach oben und verringert die Kapazitäten der von den Winkel-Elektroden 313, 314 gebildeten Kondensatoren. Bei einer in Fig. 36 senkrecht zur Zeichenebene nach oben gerichteten Beschleunigung verlagert sich das Gewicht 301a nach unten und die Kapazitäten erhöhen sich gegenüber den Kapazitäten in neutraler Position.

Man kann also bei dieser Ausführungsform des Beschleunigungssensors die Richtung der linearen Beschleunigung durch Erfassung der Änderungen der Kapazitäten feststellen.

Wird der Beschleunigungssensor einer linearen Beschleunigung in Richtung parallel zur X-Achse, also horizontal in Fig. 36, unterworfen, so ist die erste Achse 305 des Lagerarms 304a weitgehend kräftefrei, da die Kraftwirkung in Richtung parallel zur Längsachse dieser Achse 305 liegt. Demgegenüber wird die zweite Achse 306 des Lagerarms 304a insgesamt elastisch beansprucht nach Maßgabe der einander entgegengerichteten Wirkungen der Verlagerung des Gewichts 301a und der elastischen Rückstellkraft des Lagerarms 304a.

Aufgrund der Verlagerung des Gewichts 301a in Richtung parallel zur X-Achse variiert die Kapazität zwischen den Elektrodenabschnitten 309 des Gewichts 301a und den Elektroden 310a—f für die X-Achse und Y-Achse. Man kann so eine lineare Beschleunigung parallel zur X-Achse identifizieren.

Beispielsweise solle die lineare Beschleunigung nach rechts in Fig. 36 ausgeübt werden. Die Relativbewegung des Gewichts 301a aufgrund dessen Trägheit gegenüber den anderen Teilen des Beschleunigungssensors erfolgt also nach links. Damit wird die Überdeckungsfläche der Elektroden-Segmente 309 am Gewicht 301a und 312a an den Elektroden 310a, b, c für die X-Achse erhöht, die entsprechende Überdeckungsfläche auf der gegenüberliegenden Seite zu den Elektroden 310d, e, f entsprechend verringert. Man kann also so nicht nur den Betrag, sondern auch die Richtung der linearen Beschleunigung in Richtung der X-Achse feststellen auf der Grundlage der zuvor erläuterten Änderungen der Kapazitäten auf der Grundlage der entsprechenden Änderungen der Überdeckungsflächen der Elektroden.

Wenn der Beschleunigungssensor einer Beschleunigung nach links in Fig. 36 ausgesetzt wird, so verlagert sich das Gewicht 301a relativ nach rechts in Fig. 36. Man hat also dann die umgekehrte Veränderung der Überdeckungsflächen der Elektroden 310a, b, c einerseits und 310d, e, f andererseits. Man stellt also so die umgekehrte Kapazitätsänderung fest, was auf die Richtung der Verschiebung bezüglich der X-Achse schließen läßt.

Dieselben Einflüsse wie zuvor treten bei Auftreten von linearen Beschleunigungen in Richtung der Y-Achse ein.

Die Überdeckungsfläche der Elektrodenabschnitte 309 am Gewicht 301a mit den Elektroden 311a, b, c für die Y-Achse erhöht sich, ebenso erhöht sich die Kapazität. Demgegenüber verringert sich die Kapazität gegenüber den Elektroden 311d, e, f für die Y-Achse gegenüber den Elektrodenabschnitten 309.

Ist die lineare Beschleunigung in Fig. 36 nach unten gerichtet, so tritt der umgekehrte Effekt ein. Die Überdek-

kungsfläche an den Elektroden 311a, b, c und deren Kapazitäten verringern sich, die Überdeckungsflächen und Kapazitäten bei 311d, e, f erhöhen sich.

Die Erfassung der Winkelbeschleunigung wird nachfolgend erläutert.

Tritt eine Winkelgeschwindigkeit von  $\omega_x$  um die X-Achse am Beschleunigungssensor auf, so schwenkt das Gewicht 301a um die Längsachse der ersten Achse 305 des Lagerarms 304a in einer Richtung entgegen der Wirkungsrichtung der Winkelgeschwindigkeit. Dadurch ergibt sich ein Neigungswinkel  $\alpha_x$  zwischen der Y-Achse und der Ebene des Gewichts 301a wie in Fig. 38a dargestellt. In Fig. 38a verläuft die X-Achse senkrecht zur Zeichenebene.

Die Ist-Spaltweite zwischen den Elektrodenabschnitten 309 des Gewichts 301a und den Winkel-Elektroden 313a, b für die X-Achse oder 314a, 314b für die Y-Achse verändern sich und damit verändern sich die resultierenden Kapazitäten.

Wie sich beispielsweise aus Fig. 36 ergibt kann eine Winkelgeschwindigkeit  $\omega_x$  in Pfeilrichtung auftreten. Die entsprechende Oberfläche des Gewichts 301a, die der Winkелеlektrode 313a für die X-Achse gegenübersteht, wird dementsprechend aufgrund der Trägheit des Gewichts 301a der Elektrode 313a genähert, während die gegenüberliegende Seitenfläche des Gewichts 301a von der Winkel-Elektrode 313b für die X-Achse entfernt wird. Folglich erhöht sich die Kapazität des von der Elektrode 313a und Oberfläche des Gewichts 301a gebildeten Kondensators, während sich die Kapazität des von der Elektrode 313b und dem Gewicht 301a gebildeten Kondensators verringert. Die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_x$  läßt sich so also nach Betrag und Richtung ermitteln.

Wenn die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_x$  entgegen der zuvor erläuterten Richtung, also der Pfeilrichtung in Fig. 36 aufgebracht wird, so ändern sich die Kapazitäten zu den Elektroden 313a und 313b in genau umgekehrter Richtung, das bedeutet eben die Richtungsempfindlichkeit des Meßwertes, aus dem sich die Wirkungsrichtung der Winkelgeschwindigkeit  $\omega_x$  bestimmen läßt.

In entsprechender Weise läßt sich auch eine Winkelgeschwindigkeit  $\omega_y$  um die Y-Achse gemäß Pfeilrichtung in Fig. 36 nach Betrag und Richtung feststellen, was sich aus Fig. 38b schematisch ergibt. Das Gewicht 301a schwenkt um die Längsachse der zweiten Achse 306 des Lagerarms 304a und daraus resultiert ein Neigungswinkel  $\alpha_y$  zwischen der X-Achse und der Ebene des Gewichts 301a. Diese Verlagerung entspricht der Verlagerung um die X-Achse wie zuvor erläutert. Es ist nur darauf hinzuweisen, daß in Fig. 38b die Y-Achse senkrecht zur Zeichenebene verläuft.

Wird die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_y$  um die Y-Achse auf den Beschleunigungssensor in Pfeilrichtung in Fig. 36 ausgeübt, so erhöht sich die Kapazität der Winkel-Elektrode 314a für die Y-Achse zum Gewicht 301a, während sich die Kapazität der gegenüberliegenden Winkel-Elektrode 314b zum Gewicht 301a verringert.

Wirkt die Winkelgeschwindigkeit in Gegenrichtung, also entgegen dem Pfeil in Fig. 36, so variieren die Kapazitäten der Winkel-Elektroden 314a, 314b genau umgekehrt wie zuvor erläutert. Im Ergebnis lassen sich also aus diesen Änderungen der Kapazitäten und deren Absolutwerten die Winkelgeschwindigkeit  $\omega_y$  um die Y-Achse nach Betrag und Richtung ermitteln.

Die Ermittlung der linearen Beschleunigung und der Winkelgeschwindigkeit, die zuvor beschrieben worden ist, betrifft immer nur eine einzelne lineare Beschleunigung oder eine einzelne Winkelgeschwindigkeit. Man kann natürlich auch eine Mehrzahl von linearen Beschleunigungen und eine Mehrzahl von Winkelgeschwindigkeiten gleichzeitig erfassen, indem man die Änderungen der Kapazitäten bezüglich jeder Achse und Richtung erfaßt. Man kann das dadurch analytisch erleichtern, daß man zuvor die Änderungen der Kapazitäten bei vorgegebenen überlagerten linearen Beschleunigungen analysiert (überlagerte lineare Beschleunigungen, die aus einer Mehrzahl von bekannte, einheitlichen linearen Beschleunigungen in jeder Richtung resultieren). Hat man diese vorherige Analyse durchgeführt, so kann man letztlich meßtechnisch später jede einzelne lineare Beschleunigung in jeder Richtung identifizieren, auch wenn man letztlich als Meßsignal nur das Meßsignal einer Mehrzahl von überlagerten linearen Beschleunigungen erhält. Dasselbe gilt für den Fall, daß der Beschleunigungssensor gleichzeitig einer Mehrzahl von Winkelgeschwindigkeiten in unterschiedlichen Richtungen bzw. um unterschiedliche Achsen ausgesetzt wird.

Bei dem zuvor erläuterten ersten Ausführungsbeispiel wird eine passive Meßtechnik eingesetzt, um direkt die Änderungen der Kapazitäten zwischen dem Gewicht 301a und den verschiedenen Elektroden mittels äußerer Schaltkreise festzustellen. Es ist auch möglich, diese Technik durch eine sogenannte servounterstützte Technik zu ersetzen.

Man kann einen Rückkopplungsschaltkreis (den Servoschaltkreis) folgendermaßen konstruieren:

Man kann die zweite und vierte Elektrode 310b, 310e für die X-Achse und die zweite und vierte Elektrode 311b, 311e für die Y-Achse als Steuerelektroden benutzen. Entsprechend den Veränderungen der Kapazitäten, die von den anderen Elektroden der X-Achse oder der Y-Achse festgestellt werden, wenn sich das Gewicht 301a wie oben beschrieben verlagert, kann eine sogenannte Servospannung an die zweite und die vierte Elektrode 310b, 310e für die X-Achse und die zweite und vierte Elektrode 311b, 311e für die Y-Achse angelegt werden. Dadurch wird dann das Gewicht 301a in seiner neutralen Stellung gehalten. Die lineare Beschleunigung und die Winkelgeschwindigkeit wird bei dieser Technik nur durch die Größe der Servospannung bestimmt.

Schließlich soll noch mit Bezugnahme auf die Fig. 39 bis 42 ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung beschrieben werden. Fig. 39 zeigt die horizontale Linie entsprechend der X-Achse und die vertikale Linie entsprechend der Y-Achse, die Z-Achse senkrecht zur Zeichenebene.

Beim ersten Ausführungsbeispiel des Beschleunigungssensors gemäß einem dritten Aspekt der Erfindung in Fig. 36 dargestellt ist das Gewicht 301a so angeordnet, daß es den Lagerarm 304a außen umgibt. Im Gegensatz dazu ist beim dargestellten zweiten Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 39 das Gewicht 301b mittig im Beschleunigungssensor angeordnet und die Lagerarme 304b befinden sich außerhalb des Gewichts 301b und halten das Gewicht 301b in einem vorgegebenen Abstand (Standardspalt) zum Silizium-Substrat 303b.

Das Ausführungsbeispiel nach Fig. 39 wird im Detail beschrieben.

Das Gewicht 301b besteht im dargestellten Ausführungsbeispiel aus polykristallinem Silizium, hat eine im wesentlichen flache, quadratische Form parallel zur X-Y-Ebene und weist eine Mehrzahl von Elektrodenabschnitten 315 an jeder seiner vier äußeren Umfangsflächen auf. Diese Elektrodenabschnitte 315 sind voneinander in gleichen Abständen und parallel zueinander angeordnet und ragen nach außen von den Seitenflächen ab wie das in Fig. 39 und Fig. 40 dargestellt ist.

Jeder Elektrodenabschnitt 315 hat eine rechteckige Form im Schnitt entlang der X-Z-Ebene und der Y-Z-Ebene, ist jedoch in der X-Y-Ebene ganz dünn. Die Elektrodenabschnitte 315 entsprechen in ihrer Form ungefähr den Elektrodenabschnitten 309 des ersten Ausführungsbeispiels der Fig. 36 und 37.

In der Mitte jeder der einander gegenüberliegenden Seiten parallel zur Y-Achse am Gewicht 301b sind die Enden von zwei ersten Achsen 316a, 316b des Lagerarms 304b gebondet, der das Gewicht 301b parallel beabstandet vom Silizium-Substrat 303b in bestimmter Distanz hält.

Der Lagerarm 304b besteht insgesamt aus zwei ersten Achsen 316a, b und zwei zweiten Achsen 317a, b. Die ersten Achsen 316a, b verlaufen parallel zur X-Achse und sind mit ihren inneren Enden im wesentlichen mittig an den einander gegenüberliegenden, in Y-Richtung verlaufenden Seitenflächen des Gewichts 301b gebondet. Die äußeren Enden der ersten Achsen 316a, b sind an die Mittelpunkte der zweiten Achsen 317a, b gebondet. Die zweiten Achsen 317a, b erstrecken sich im wesentlichen parallel zur Y-Achse. Die einander gegenüberliegenden Enden der zweiten Achsen 317a, b sind ihrerseits an insgesamt vier Stützen 318 gebondet. Die Stützen 318 sind auf der oberen Fläche des Silizium-Substrats 303b fest angebracht wie das Fig. 39 und Fig. 40 erkennen lassen, und zwar so, daß die ersten Achsen 316b und die zweiten Achsen 316a, b von der Oberfläche des Silizium-Substrats 303b hinreichend beabstandet sind, wie in Fig. 40 dargestellt.

Das Gewicht 301b kann sich aufgrund dieser Konstruktion in Richtung parallel zu jeder der drei Achsen X, Y, Z linear verschieben und/oder um die X-Achse schwenken. Das erlaubt die Erfassung linearer Beschleunigungen in Richtung jeder der drei zuvor genannten Achsen und die Erfassung von Winkelbeschleunigungen um die X-Achse. Durch Bemessung der ersten Achsen 316 und zweiten Achsen 317 in Länge, Breite und Dicke kann man das Ausmaß der Verlagerung des Gewichts 301b steuern d. h. damit kann man die Empfindlichkeit des Beschleunigungssensors in gewünschter Weise einstellen.

Vier Elektroden 319a—d für die X-Achse und vier Elektroden 320a—d für die Y-Achse sind um das Gewicht 301b aus polykristallinem Silizium auf dem Silizium-Substrat 303b herum angeordnet in entsprechender Weise wie beim ersten Ausführungsbeispiel gemäß den Fig. 36 und 37.

In bekannter Weise haben die vier Elektroden 319a—d für die X-Achse und die vier Elektroden 320a—d für die Y-Achse eine quaderförmige Grundplatte 321 mit einer Längsseite bestückt mit drei Elektrodenabschnitten 321a. Diese haben gleiche Abstände voneinander und ragen senkrecht von der Grundplatte 321 ab, wie das in Fig. 39 erkennbar ist. Die Elektrodenabschnitte 321a sind ähnlich oder identisch ausgeformt wie die Elektrodenabschnitte 315 am Gewicht 301b.

Aus den Fig. 39 und 40 ergibt sich, daß die Elektrodenabschnitte 321a der Elektroden 319a—d für die X-Achse und der Elektroden 320a—d für die Y-Achse parallel zwischen benachbarten Elektrodenabschnitten 315 an den Außenseiten des Gewichts 301b angeordnet sind und ebenfalls in dem entsprechenden Abstand über dem Silizium-Substrat 303b liegen.

Bei allen Elektroden 319a—d und 320a—d sind die Elektrodenabschnitte 321a auf dem Silizium-Substrat 303b in der Ebene ortsfest angeordnet, so daß sich deren Spitzen mit hinreichendem, vorgegebenem Abstand von den Außenflächen des Gewichts 301b in der Ruhelage des Gewichts in Fig. 39 befinden.

Zur Bildung von Kondensatoren führen die Kapazitäten zwischen jeder der vier Elektroden 319a—d für die X-Achse und der vier Elektroden 320a—d für die Y-Achse einerseits und den entsprechenden Elektrodenabschnitten 315 am Gewicht 301b andererseits.

Auch hier haben wir wieder Winkel-Elektroden 322a, b für die X-Achse aus polykristallinem Silizium, die auf der oberen Fläche des Silizium-Substrats 303b fest angebracht sind und flachen Abschnitten am Gewicht 301b gegenüberstehen. Diese Elektroden sind in Y-Richtung hinreichend weit voneinander beabstandet, so daß jeweils eine eigene Kapazität zwischen dem Gewicht 301b und jeder der beiden Elektroden 322a und 322b entsteht.

Die Herstellung des Mehrachsen-Beschleunigungssensors der vorliegenden Erfindung mit der zuvor erläuterten Konstruktion wird anhand von Fig. 41 und 42 beschrieben.

Der mehrachsige Beschleunigungssensor wird mit einer Mikrobearbeitungstechnik in folgender Weise hergestellt.

Zunächst wird eine Siliziumnitridbeschichtung 330 als Oberflächen-Schutzbeschichtung auf das Silizium-Substrat 303b aufgebracht. Dann wird gemäß Fig. 41a eine erste polykristalline Siliziumschicht 331 auf der Schutzbeschichtung 330 in einem bestimmten Bereich abgeschieden. Die Schicht 331 wird schließlich zu den Winkel-Elektroden 322a, b für die X-Achse geformt.

Fig. 41b zeigt, daß nun eine weitere Schutzbeschichtung 332a aufgebracht wird, die die erste polykristalline Siliziumschicht 331 komplett abdeckt. Eine weitere Schutzbeschichtung 332b wird im Bereich zwischen dem Lagerarm 304b, der später ausgebildet wird, und dem Silizium-Substrat 303b ausgebildet.

Fig. 42a zeigt, daß dann eine zweite polykristalline Siliziumschicht 333 auf alle vorherigen Schichten komplett aufgebracht wird. Diese Schicht 333 wird später zum Gewicht 301b, zu den Elektroden 319a—d für die X-Achse, zu den Elektroden 320a—d für die Y-Achse und für weitere Komponenten des Beschleunigungssensors umgeformt.

Die polykristalline Siliziumschicht 333 wird dann einer anisotropen Ätzung in der weiter oben schon mehrfach erläuterten Weise unterworfen und Bereiche, die dann letztlich das Gewicht 301b, die Elektroden 319, die Elektroden 320 und andere Komponenten darstellen werden so durch Ätzung hergestellt. In diesem Zug werden

auch Teile der Schutzbeschichtungen 332a, b entfernt, so daß sich die Abstände in der in Fig. 42b dargestellten Weise ergeben.

Es sei zu erwähnen, daß das Verfahren zur Herstellung eines mehrachsigen Beschleunigungssensors gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel nach Fig. 36 und 37 oben nicht beschrieben worden ist. Diese Methode entspricht aber im wesentlichen der zuvor erläuterten Herstellungsmethode.

Wird der Beschleunigungssensor einer linearen Beschleunigung in Richtung parallel zur Z-Achse, also senkrecht zur Zeichenebene in Fig. 39 ausgesetzt, so wird das Gewicht 301b in Gegenrichtung relativ zu dem Beschleunigungssensor verlagert.

Wird das Gewicht 301b in Fig. 39 senkrecht zur Zeichenebene nach oben verlagert so erhöht sich der Abstand zwischen dem Gewicht 301b und den Winkel-Elektroden 322a, b, deren Kapazitäten sinken. Bei umgekehrter Bewegungsrichtung des Gewichts 301b verringert sich die Spaltweite und die Kapazitäten steigen an.

Man kann also die lineare Beschleunigung in Richtung der Z-Achse in Fig. 39 nach Betrag und Richtung aufgrund der Kapazitäten und Kapazitätsänderungen ermitteln.

Wird an den Beschleunigungssensor eine lineare Beschleunigung in Richtung parallel zur X-Achse angelegt, so werden die zweiten Achsen 317a, b des Lagerarms 304b elastisch gebogen in einer Richtung entgegen der Wirkungsrichtung der linearen Beschleunigung. Das Gewicht 301b wird in der entsprechenden Richtung entgegen der Wirkungsrichtung der Beschleunigung linear verlagert.

Wird das Gewicht 301b in Fig. 39 nach rechts verlagert, so verringert sich die Kapazität zwischen dem Gewicht 301b und jeder der beiden Elektroden 319a, b für die X-Achse, während sich die Kapazität zu den Elektroden 319c, d für die X-Achse erhöht.

Wird das Gewicht 301b nach links in Fig. 39 verlagert, so erhöht sich die Kapazität zu den Elektroden 319a, b und verringert sich zu den Elektroden 319c, d.

Es ist aus der zuvor erläuterten Funktionsweise ersichtlich, daß man die lineare Beschleunigung in X-Richtung nach Betrag und Richtung ermitteln kann.

Wird der Beschleunigungssensor einer linearen Beschleunigung in Richtung parallel zur Y-Achse ausgesetzt, so werden die ersten Achsen 316a, b des Lagerarms 304b elastisch in Richtung gegen die Wirkungsrichtung der linearen Beschleunigung verwunden. Das Gewicht 301b wird entsprechend gegen die Richtung der linearen Beschleunigung verlagert.

Wird das Gewicht 301b in Fig. 39 nach oben verlagert, so verringern sich die Kapazitäten vom Gewicht 301b zu den Elektroden 320a, b für die Y-Achse und es erhöhen sich die Kapazitäten zu den Elektroden 320c, d für die Y-Achse. Bei umgekehrter Verlagerung des Gewichts 301b nach unten in Fig. 39 erhöhen sich die Kapazitäten zu den Elektroden 320a, b, die in Fig. 39 oben liegenden Elektroden 320c, d hingegen weisen verringerte Kapazitäten auf. Auch insoweit kann man also Betrag und Richtung der linearen Beschleunigung in Y-Richtung feststellen.

Bei Aufbringung einer Winkelbeschleunigung um die X-Achse schwenkt das Gewicht 301b um die Längsachse der ersten Achsen 316a, b entgegen der Wirkungsrichtung der Winkelbeschleunigung.

Als Beispiel sei hier die Situation erläutert, wenn die Winkelbeschleunigung um die X-Achse auf den Beschleunigungssensor so wirkt, daß das Gewicht 301b um die ersten Achsen 316a, b so schwenkt, daß ein erster Abschnitt des Gewichts 301b gegenüber der Winkel-Elektrode 322a senkrecht zur Zeichenebene von Fig. 39 nach oben verlagert wird und der gegenüberliegende Abschnitt zur Winkel-Elektrode 322b nach unten verlagert wird. So wächst die Spaltweite zur Elektrode 322a und die Kapazität sinkt, während die Spaltweite zur Elektrode 322b sinkt und die Kapazität ansteigt.

Wird eine Winkelbeschleunigung um die X-Achse in Gegenrichtung am Beschleunigungssensor wirksam, so schwenkt das Gewicht 301b um die ersten Achsen 316a, b so, daß der erste Abschnitt des Gewichts 301b an der Elektrode 322a in Fig. 39 senkrecht zur Zeichenebene nach unten verlagert wird, während der gegenüberliegende Abschnitt entgegengesetzt nach oben verlagert wird. Die Kapazität zwischen dem Gewicht 301b und der Elektrode 322a wächst folglich an, dementsprechend sinkt die Kapazität zur Elektrode 322b.

Die Winkelbeschleunigung läßt sich mit diesem Beschleunigungssensor bezüglich der X-Achse nach Betrag und Richtung ermitteln.

Auch für das vorliegende Ausführungsbeispiel gilt, daß überlagerte Beschleunigungen festgestellt werden können durch Feststellung der Änderungen der Kapazitäten bezüglich jeder Achse und Richtung. Dazu muß man nur vorweg die Änderungen der Kapazitäten analysieren, die auftreten, wenn eine überlagerte lineare Beschleunigung auf den Beschleunigungssensor ausgeübt wird, die aus einer Mehrzahl von einheitlichen linearen Beschleunigungen in jeder Richtung zusammengesetzt ist. Selbst wenn eine Mehrzahl von linearen Beschleunigungen auf den Beschleunigungssensor ausgeübt werden, kann man nach dieser vorbereitenden Maßnahme einzelne lineare Beschleunigungen in jeder der möglichen Richtungen aus den Meßwerten heraus identifizieren. Entsprechendes gilt für überlagerte Winkelbeschleunigungen.

Auch im vorliegenden Ausführungsbeispiel kann man für die Änderungen der Kapazitäten die zuvor erläuterte servounterstützte Meßtechnik einsetzen. Dazu könnte man die Elektroden 319a, b für die X-Achse und die Elektroden 320a, b für die Y-Achse zur Einspeisung der Servospannung verwenden, um das Gewicht 301b stets in seiner Neutralstellung zu halten.

Wie die voranstehenden Ausführungen deutlich gemacht haben, ist es mit der Lehre der Erfindung möglich, eine Mehrzahl von linearen Beschleunigungen und Winkelbeschleunigungen in einem Beschleunigungssensor zu ermitteln, wobei diese Beschleunigungen in einer Mehrzahl von Richtungen und als Winkelbeschleunigungen um eine Mehrzahl von Achsen auch überlagert auftreten können. Wenn man also Informationen zu linearen Beschleunigungen in einer Mehrzahl von Richtungen und Winkelbeschleunigungen um eine Mehrzahl von Achsen benötigt, so kann man nur einen Beschleunigungssensor gemäß der Erfindung anstelle einer Mehrzahl von konventionellen Beschleunigungssensoren einsetzen. Dadurch werden erhebliche Kosten eingespart.

Da der erfindungsgemäße Beschleunigungssensor unter Verwendung von Halbleitermaterialien auf einem Silizium-Substrat hergestellt werden kann, läßt sich dieser Beschleunigungssensor mit Mikrobearbeitungsverfahren herstellen. Dadurch läßt sich nicht nur die Größe des erfindungsgemäßen Beschleunigungssensors erheblich verringern, diese Mikrobearbeitungsverfahren sind auch für eine Großserienproduktion zu außerordentlich günstigen Kosten hervorragend geeignet.

#### Patentansprüche

1. Beschleunigungssensor aufweisend folgende Merkmale:
  - a) Eine mittige feststehende Platte (1).
  - b) Mindestens ein Torsions-Lagerarm (7a, b), der sich von der Mitte zweier einander gegenüberliegenden Seiten der mittigen feststehenden Platte (1) nach außen erstreckt in Richtung parallel zu einer X-Achse oder einer Y-Achse.
  - c) Ein plattenartiges Gewicht (3) mit einem mittig angeordneten Fenster (5), in dem die mittige feststehende Platte (1) angeordnet ist, wobei die Mitte jeder von zwei einander gegenüberliegenden Innenseiten des mittigen Fensters (5) mit einem Ende des Torsions-Lagerarms (7a, b) verbunden ist, so daß das plattenartige Gewicht (3) um den Torsions-Lagerarm (7a, b) schwenken und in Richtung parallel zur Z-Achse verlagert werden kann und dabei den Torsions-Lagerarm (7a, b) elastisch verformt bzw. verwindet.
  - d) Ein Außengehäuse (21) zur Lagerung der mittigen feststehenden Platte (1), aufgebaut aus einer Oberplatte (17) und einer Unterplatte (19) einander gegenüber angeordnet gegenüber einer Vorderseite und einer Rückseite des plattenartigen Gewichts (3).
  - e) Jeweils eine erste Elektrode (11, 12), fest angebracht auf der Vorderseite bzw. der Rückseite des plattenartigen Gewichts (3).
  - f) Jeweils eine zweite Elektrode (23, 25), fest angebracht auf einer Innenfläche der Oberplatte (17) bzw. der Unterplatte (19) und so angeordnet, daß sie der jeweiligen ersten Elektrode (11 bzw. 12) am plattenartigen Gewicht (3) gegenübersteht.
  - g) Die zweite Elektrode (23, 25) ist jeweils so nahe an und gegenüber der entsprechenden ersten Elektrode (11, 12) angeordnet, daß sich daraus ein Kondensator (C) ergibt, dessen charakteristisches Ausgangssignal (die Kapazität) errechnet bzw. bestimmt wird, um sowohl die Winkelbeschleunigung um die Längsachse des Torsions-Lagerarms (7a, b), als auch die lineare Beschleunigung in Richtung parallel zu der Z-Achse zu ermitteln.
  - h) Der Torsions-Lagerarm (7a, b) hat eine geringe Breite und hat ungefähr dieselbe Dicke wie das plattenartige Gewicht (3).
2. Beschleunigungssensor nach Anspruch 1 mit folgendem Merkmal:
  - i) Die mittige feststehende Platte (1), der Torsions-Lagerarm (7a, b) und das plattenartige Gewicht (3) haben im wesentlichen dieselbe Dicke und sind, vorzugsweise, aus einer einzigen durchgehenden Platte integral ausgeformt.
3. Beschleunigungssensor aufweisend folgende Merkmale:
  - a) Ein äußerer fester Rahmen (41) mit einem Fenster (43) in seiner Mitte ist vorgesehen.
  - b) Mehrere Torsions-Lagerarme (45a, b) erstrecken sich von den Mitten der inneren Umfangsflächen des äußeren festen Rahmens (41) aus nach innen in einer Richtung parallel zur X-Achse oder Y-Achse.
  - c) Im Fenster (43) des äußeren festen Rahmens (41) ist ein plattenartiges Gewicht (31) angeordnet.
  - d) Das plattenartige Gewicht (31) weist eine Mehrzahl von Ausnehmungen (ausgeklinkte Bereiche) (33a, b) in den Mittelbereichen der äußeren, einander gegenüberliegenden Seitenflächen auf.
  - e) Die Mitten der Ausnehmungen (33a, b) sind mit den Enden der Torsions-Lagerarme (45a, b) fest verbunden, so daß das plattenartige Gewicht (31) um die Längsachse der Torsions-Lagerarme (45) schwenken und in einer Richtung parallel zur Z-Achse linear verschoben werden kann, wobei jeweils die Torsions-Lagerarme (45) elastisch verformt werden.
  - f) Ein Außengehäuse (51) mit einer Oberplatte (47) und einer Unterplatte (49) umgibt das plattenartige Gewicht (31), die beiden Platten (47, 49) liegen den Außenflächen des plattenartigen Gewichts (31) gegenüber und schließen den äußeren festen Rahmen (41) zwischen sich ein.
  - g) Eine Mehrzahl von ersten Elektroden (37, 39) ist auf den einander gegenüberliegenden Oberflächen des plattenartigen Gewichts (31) fest angebracht.
  - h) Eine Mehrzahl von zweiten Elektroden (53, 55) ist an Innenflächen der Oberplatte (47) bzw. der Unterplatte (49) fest angebracht, so daß sie den ersten Elektroden (37, 39) entsprechend gegenüberstehen.
  - i) Jedes Paar einander gegenüberstehender erster und zweiter Elektroden (37a, 53a; 37b, 53b; 39a, 55a; 39b, 55b) bilden gemeinsam einen Kondensator (C1, C2, C3, C4), dessen Ausgangssignal (Kapazität) erfaßt wird, um sowohl die Winkelbeschleunigung um die Längsachse der Torsions-Lagerarme (45) als auch eine lineare Beschleunigung in Richtung parallel zur Z-Achse zu erfassen.
  - j) Der Torsions-Lagerarm (7a, b) hat eine geringe Breite und hat ungefähr dieselbe Dicke wie das plattenartige Gewicht (3).
4. Beschleunigungssensor aufweisend folgende Merkmale:
  - a) Eine mittige feststehende Platte (61).
  - b) Mindestens ein Torsions-Lagerarm (65a, b) für die X-Achse, der sich von der Mitte zweier einander gegenüberliegenden Seiten der mittigen feststehenden Platte (61) nach außen erstreckt in Richtung parallel zur X-Achse.



- c) Ein Zusatzrahmen (63) umgibt die mittige feststehende Platte (61), wobei die Mitten der inneren Umfangsflächen des Zusatzrahmens (63) mit den Enden der Torsions-Lagerarme (65) für die X-Achse verbunden sind.
- d) Von den Mitten zweier einander gegenüberliegender äußerer Umfangsflächen des Zusatzrahmens (63) erstrecken sich nach außen in einer Richtung parallel zur Y-Achse Torsions-Lagerarme (71a, b) für die Y-Achse. 5
- e) Ein plattenartiges Gewicht (67) mit einem in der Mitte angeordneten Fenster (69) nimmt die mittige feststehende Platte (61) und den Zusatzrahmen (63) im Fenster (69) auf, wobei die Mitte jeder von zwei einander gegenüberliegenden Innenseiten des mittigen Fensters (69) mit einem Ende der Torsions-Lagerarme (71) für die Y-Achse verbunden ist, so daß das plattenartige Gewicht (67) schwenkt sowohl um die Torsions-Lagerarme (65) für die X-Achse als auch die Torsions-Lagerarme (71) für die Y-Achse und in Richtung parallel zur Z-Achse verlagert werden kann und dabei die Torsions-Lagerarme (65, 71) elastisch verformt bzw. verwindet. 10
- f) Ein Außengehäuse (77) zur Lagerung der mittigen feststehenden Platte (61), aufgebaut aus einer Oberplatte (79) und einer Unterplatte (81) einander gegenüber angeordnet gegenüber einer Vorderseite und einer Rückseite des plattenartigen Gewichts (67). 15
- g) Jeweils eine erste Elektrode (73, 75), fest angebracht auf der Vorderseite bzw. der Rückseite des plattenartigen Gewichts (67), wobei diese Elektroden (73, 75) sowohl an einander gegenüberliegenden X-Seiten als auch Y-Seiten angeordnet sind.
- h) Jeweils eine zweite Elektrode (85, 87), fest angebracht auf einer Innenfläche der Oberplatte (79) bzw. der Unterplatte (81) und so angeordnet, daß sie der jeweiligen ersten Elektrode (73 bzw. 75) am plattenartigen Gewicht (67) gegenübersteht. 20
- i) Die zweite Elektrode (85, 87) ist jeweils so nahe an und gegenüber der entsprechenden ersten Elektrode (73, 75) angeordnet, daß sich daraus ein Kondensator (C) ergibt, dessen charakteristisches Ausgangssignal (die Kapazität) errechnet bzw. bestimmt wird, um sowohl die Winkelbeschleunigung um die Längsachse der Torsions-Lagerarme (65) für die X-Achse und die Längsachse der Torsions-Lagerarme (71) für die Y-Achse, als auch die lineare Beschleunigung in Richtung parallel zu der Z-Achse zu ermitteln. 25
- j) Sowohl die Torsions-Lagerarme (65) für die X-Achse als auch die Torsions-Lagerarme (71) für die Y-Achse haben eine geringe Breite und haben im wesentlichen dieselbe Dicke wie das plattenartige Gewicht (67) und der Zusatzrahmen (63). 30
5. Beschleunigungssensor aufweisend folgende Merkmale:
- a) Ein äußerer fester Rahmen (101) mit einem Fenster (103) in seiner Mitte ist vorgesehen.
- b) Eine Mehrzahl von Torsions-Lagerarmen (107a, b) für die X-Achse erstrecken sich von den Mitten der inneren Umfangsflächen des äußeren festen Rahmens (101) aus nach innen in einer Richtung parallel zur X-Achse. 35
- c) Ein Zusatzrahmen (105) befindet sich innerhalb des Fensters (103) des äußeren festen Rahmens (101), wobei die Mitten von einander gegenüberliegenden äußeren Umfangsflächen mit Enden der beiden Torsions-Lagerarme (107a, b) für die X-Achse verbunden sind.
- d) Der Zusatzrahmen (105) nimmt bei Schwenkung um die Torsions-Lagerarme (107) für die X-Achse und Verlagerung in Richtung parallel zur Z-Achse unter elastischer Biegung der Torsions-Lagerarme (107) eine im Raum gebogene Form an. 40
- e) Torsions-Lagerarme (111a, b) für die Y-Achse erstrecken sich von der Mitte jeder von zwei einander gegenüberliegenden inneren Umfangsseiten des Zusatzrahmens (105) nach innen in Richtung der Y-Achse. 45
- f) Ein plattenartiges Gewicht (109) ist innerhalb des Zusatzrahmens (105) angeordnet und die Mitten zweier einander gegenüberliegender äußerer Umfangsflächen sind mit den anderen Enden der Torsions-Lagerarme (111a, b) für die Y-Achse verbunden.
- g) Ein Außengehäuse (125) mit einer Oberplatte (121) und einer Unterplatte (123) umgibt das plattenartige Gewicht (109), die beiden Platten (121, 123) liegen den Außenflächen des plattenartigen Gewichts (109) gegenüber und schließen den äußeren festen Rahmen (101) zwischen sich ein. 50
- h) Eine Mehrzahl von ersten Elektroden (113, 115) sind auf einander gegenüberliegenden X-Seiten und Y-Seiten jeder der beiden Außenflächen des plattenartigen Gewichts (109) fest angebracht.
- i) Eine Mehrzahl von zweiten Elektroden (127, 129) sind an Innenflächen der Oberplatte (121) bzw. der Unterplatte (123) so angeordnet, daß ihre Positionen zu den Positionen der ersten Elektroden (113, 115) korrespondieren, wobei jedes Paar einander gegenüberliegender erster und zweiter Elektroden einen Kondensator (C) bildet, dessen Ausgangssignal (Kapazität) ermittelt wird, um sowohl Winkelbeschleunigungen um die Torsions-Lagerarme (107a, b) für die X-Achse als auch die Torsions-Lagerarme (111a, b) für die Y-Achse als auch eine lineare Beschleunigung in Richtung parallel zur Z-Achse ermitteln zu können. 55
- j) Sowohl die Torsions-Lagerarme (107a, b) für die X-Achse als auch die Torsions-Lagerarme (111a, b) für die Y-Achse haben eine geringe Breite und haben im wesentlichen dieselbe Dicke wie das plattenartige Gewicht (109) und der Zusatzrahmen (105). 60
6. Beschleunigungssensor aufweisend folgende Merkmale:
- a) Ein plattenartiges Gewicht (205) aus einem Halbleitermaterial oder einem elektrisch leitfähigen Material ist zwischen zwei parallelen elektrisch isolierenden Substraten (201, 202) so angeordnet, daß es zumindest geringfügig beweglich ist. 65
- b) Eine Mehrzahl von Elektroden (203a—h) ist auf einander gegenüberliegenden Flächen der Substra-

te (201, 202) angeordnet.

c) Veränderungen der Spaltweite zwischen jeder der Elektroden (203) und dem Gewicht (205) oder Veränderungen in der wirksamen Überdeckungsfläche der einander gegenüberliegenden Elektrodenflächen verändern die Kapazität zwischen der Mehrzahl von Elektroden (203) und dem Gewicht (205), so daß sich daraus lineare Beschleunigungen und Winkelbeschleunigungen errechnen lassen.

d) Zwischen den beiden isolierenden Substraten (201, 202) ist eine Stütze (207) angeordnet und mit den beiden einander gegenüberliegenden Enden mit den Substraten (201, 202) fest verbunden.

e) Die Stütze (207) weist einen ersten Lagerarm (208) auf, der sich, vorzugsweise nach beiden Seiten, von der Stütze (207) in Richtung parallel zu den Substraten (201) erstreckt.

f) Die äußeren Enden des ersten Lagerarms (208) sind mit einem Lagerrahmen (209) verbunden.

g) An der äußeren Umfangsfläche des Lagerrahmens (209) befindet sich ein zweiter, sich ebenfalls vorzugsweise nach beiden Richtungen erstreckender Lagerarm (210), der parallel zu den isolierenden Substraten (201, 202) verläuft.

h) Der zweite Lagerarm (210) verläuft in einem bestimmten Winkel geneigt, also nicht im rechten Winkel, zum ersten Lagerarm (208).

i) Die äußeren Enden des zweiten Lagerarms (210) sind mit einem rahmenartigen Gewicht (211) verbunden.

7. Beschleunigungssensor nach Anspruch 6 mit folgendem Merkmal:

j) Die Stütze (207), der erste Lagerarm (208), der Lagerrahmen (209), der zweite Lagerarm (210) und das plattenartig-rahmenartige Gewicht (211) sind integral aus einer einzigen durchgehenden Platte aus Halbleitermaterial oder elektrisch leitendem Material gebildet.

8. Beschleunigungssensor nach Anspruch 6 oder 7 mit dem Merkmal:

k) Der erste Lagerarm (208), der Lagerrahmen (209), der zweite Lagerarm (210) und das Gewicht (211) haben ein und dieselbe Dicke, die geringer ist als die Dicke bzw. Höhe der Stütze (207) in derselben Richtung, vorzugsweise der Z-Richtung, gemessen.

9. Beschleunigungssensor nach einem der Ansprüche 6 bis 8 mit folgendem Merkmal:

l) Das verwendete Halbleitermaterial ist Silizium.

10. Beschleunigungssensor nach Anspruch 9 mit folgenden Merkmalen:

m) Das Silizium-Halbleitermaterial wird in seiner (111)-Ebene geschnitten bzw. genutzt.

n) Ein vorgegebener Winkel ist zwischen dem ersten Lagerarm (208) und dem zweiten Lagerarm (210) realisiert und beträgt etwa  $109,5^\circ$  gemessen in Richtung des Uhrzeigersinns vom ersten Lagerarm (208) zum zweiten Lagerarm (210).

11. Beschleunigungssensor nach einem der Ansprüche 6 bis 10 mit folgendem Merkmal:

o) Jeder der Lagerarme (208, 210) ist im Querschnitt im wesentlichen rechteckig ausgeführt, Querschnitt in einer Ebene senkrecht zu den einander gegenüberliegenden Flächen der beiden isolierenden Substrate (201, 202).

12. Beschleunigungssensor nach einem der Ansprüche 6 bis 11 mit folgendem Merkmal:

p) Der Abstand zwischen den einander gegenüberliegenden Oberflächen der beiden isolierenden Substrate (201, 202) wird verringert, um so den Beschleunigungssensor insgesamt empfindlicher bezüglich linearer Beschleunigungen und/oder Winkelbeschleunigungen zu machen.

13. Beschleunigungssensor mit einem plattenartigen Gewicht (232) aus einem Halbleitermaterial oder einem elektrisch leitfähigen Material, das zwischen zwei elektrisch isolierenden Substraten beweglich angeordnet ist, insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 12, mit folgenden Merkmalen:

q) Integral ausgebildet mit dem plattenartigen Gewicht (232) und an der äußeren Umfangsfläche des Gewichts (232) angeordnet befinden sich Kammelektroden (237), die jeweils aus einer Mehrzahl von Elektrodenabschnitten (238) bestehen, die ihrerseits eine plattenartige Form haben und parallel zueinander mit Abstand voneinander angeordnet sind.

r) Den Kammelektroden (237) am Gewicht (232) sind feststehende Kammelektroden (239) zugeordnet, deren jede ebenfalls aus einer Mehrzahl von Elektrodenabschnitten (241) plattenartiger Form und parallel mit Abstand zueinander angeordnet besteht, wobei diese Elektrodenabschnitte (241) aus Halbleitermaterial oder elektrisch leitfähigem Material bestehen und jeweils ein Elektrodenabschnitt (241) zwischen zwei benachbarten Elektrodenabschnitten (238) der Kammelektroden (237) angeordnet sind.

s) Veränderungen des Abstands zwischen den Kammelektroden (237 und 239) aufgrund einer Verlagerung des Gewichts (232) verändern die meßbaren Kapazitäten zwischen den Kammelektroden (237, 239) und machen so lineare Beschleunigungen und Winkelbeschleunigungen erfaßbar.

14. Beschleunigungssensor nach Anspruch 13 mit folgendem Merkmal:

t) Das Gewicht (232) hat außen eine im wesentlichen rechteckige, insbesondere quadratische Form mit vier Außenflächen, wobei an jeder Außenfläche eine Kammelektrode (237) integral angebracht ist.

15. Beschleunigungssensor aufweisend folgende Merkmale:

a) Ein plattenartiges Gewicht (250) aus einem Halbleitermaterial oder einem elektrisch leitfähigen Material ist zwischen zwei parallelen elektrisch isolierenden Substraten (252, 253) so angeordnet, daß es zumindest geringfügig beweglich ist.

b) Eine Mehrzahl von Elektroden (254a—h) ist auf einander gegenüberliegenden Flächen der Substrate (252, 253) angeordnet.

c) Veränderungen der Spaltweite zwischen jeder der Elektroden (254) und dem Gewicht (250) oder Veränderungen in der wirksamen Überdeckungsfläche der einander gegenüberliegenden Elektrodenflächen verändern die Kapazität zwischen der Mehrzahl von Elektroden (254) und dem Gewicht (250),

so daß sich daraus lineare Beschleunigungen und Winkelbeschleunigungen errechnen lassen.

- d) Die Elektroden (254) sind als Kammelektroden jeweils mit einer Mehrzahl von Zweigabschnitten (255) ausgeführt.
- e) Das plattenartige Gewicht (250) weist eine Mehrzahl von Durchgangsöffnungen (251) auf, die sich in Richtung senkrecht zu den isolierenden Substraten (252, 253) erstrecken.
- f) Die Durchgangsöffnungen (251) im Gewicht (250) sind zwischen benachbarten Zweigabschnitten (255) der Kammelektroden (254) angeordnet wenn sich das Gewicht (250) in Ruhe befindet, also von jeder Beschleunigung frei ist.
16. Mehrachsiger Beschleunigungssensor mit folgenden Merkmalen:
- a) Ein Lagerarm (304) ist aufgebaut aus einer ersten Achse (305; 316) und einer zweiten Achse (306; 317), die die erste Achse (305; 316) rechtwinklig schneidet, also in einem rechten Winkel dazu verläuft.
- b) Ein Gewicht (301) ist fest an der ersten Achse (305; 316) des Lagerarms (304) angebracht.
- c) Die zweite Achse (306; 317) des Lagerarms (304) ist auf einem Substrat (303) fest angebracht, so daß zwischen der zweiten Achse (306) und dem Substrat (303) ein vorgegebener Spalt verbleibt, so daß sich das Gewicht (301) gegenüber dem Substrat (303) bewegen kann.
- d) Eine Mehrzahl von Elektrodenabschnitten (309) sind an der äußeren Umfangsfläche des Gewichts (301) fest angebracht und erstrecken sich von dort nach außen.
- e) Nahe dem Gewicht (301) ist auf dem Substrat (303) mindestens eine erste feststehende Elektrode (310) mit einer Mehrzahl von Elektrodenabschnitten (312a) vorgesehen, die sich parallel zu den Elektrodenabschnitten (309) am Gewicht (301) erstrecken.
- f) Mindestens eine weitere Elektrode (313, 314) ist auf dem Substrat (303) fest angeordnet, und zwar so, daß sie einer ebenen Fläche des Gewichts (301) zugewandt ist.
- g) Eine Verlagerung des Gewichts (301) wird erfaßt durch Auswertung der Änderungen der Kapazitäten zwischen den Elektrodenabschnitten am Gewicht, den feststehenden Elektrodenabschnitten und den zuvor erläuterten Elektroden.
17. Beschleunigungssensor nach Anspruch 16 mit folgenden Merkmalen:
- h) Die erste Achse (305) und die zweite Achse (306) des Lagerarms (304) sind miteinander integral ausgeformt, so daß sie sich in ihren Mitten rechtwinklig kreuzen.
- i) Die einander gegenüberliegenden Enden der ersten Achse (305) sind mit den einander gegenüberliegenden Innenwänden eines Fensters (302) im Gewicht (301) fest verbunden, wobei das Gewicht (301) rahmenartig ausgeführt ist.
18. Beschleunigungssensor nach Anspruch 16 mit folgenden Merkmalen:
- j) Das Gewicht (301) ist flach plattenartig ausgeführt und die erste Achse (316a, b) ist mit einer Mittellinie des Gewichts (301) ausgerichtet und mit dem Gewicht fest verbunden (gebondet), so daß die Abschnitte der ersten Achse (316a, b) von den einander gegenüberliegenden Seiten des Gewichts (301b) abragen.
- k) Die erste Achse (316) hat ihre äußeren Enden mittig mit den senkrecht zu ihr und parallel zueinander verlaufenden Abschnitten (317a, 317b) der zweiten Achse (317) fest verbunden (gebondet).
19. Verfahren zur Herstellung eines Beschleunigungssensors:
- a) Der Beschleunigungssensor weist auf ein Paar von isolierenden Substraten (201, 202) und einen Außenrahmen (206) oder ein anderes Verschußteil, das eine Öffnung an der äußeren Umfangsfläche des Paares von Substraten (201, 202) schließt, so daß zwischen den Substraten (201, 202) und dem Außenrahmen (206) ein geschlossener Raum vorliegt, in dem ein Gewicht (205) beweglich aufgenommen wird.
- b) Nachdem eines der beiden Substrate (201, 202) mit dem Außenrahmen (206) gebondet worden ist, wird ein Gettermittel in den von den beiden Substraten (201, 202) und dem Außenrahmen (206) gebildeten geschlossenen Raum eingebracht.
- c) Nach dem Schritt b) wird das zweite Substrat (202 bzw. 201) an den Außenrahmen (206) gebondet.
- d) Die Gase, die bei dem Verfahrensschritt des Bondens entstehen, werden vom Gettermittel absorbiert, was zur Folge hat, daß der Innendruck im geschlossenen Raum für das Gewicht (205) auf einem im wesentlichen unveränderten Wert gehalten werden kann, ungeachtet des Entstehens der Gase beim Bonden.

Hierzu 27 Seite(n) Zeichnungen

FIG.1

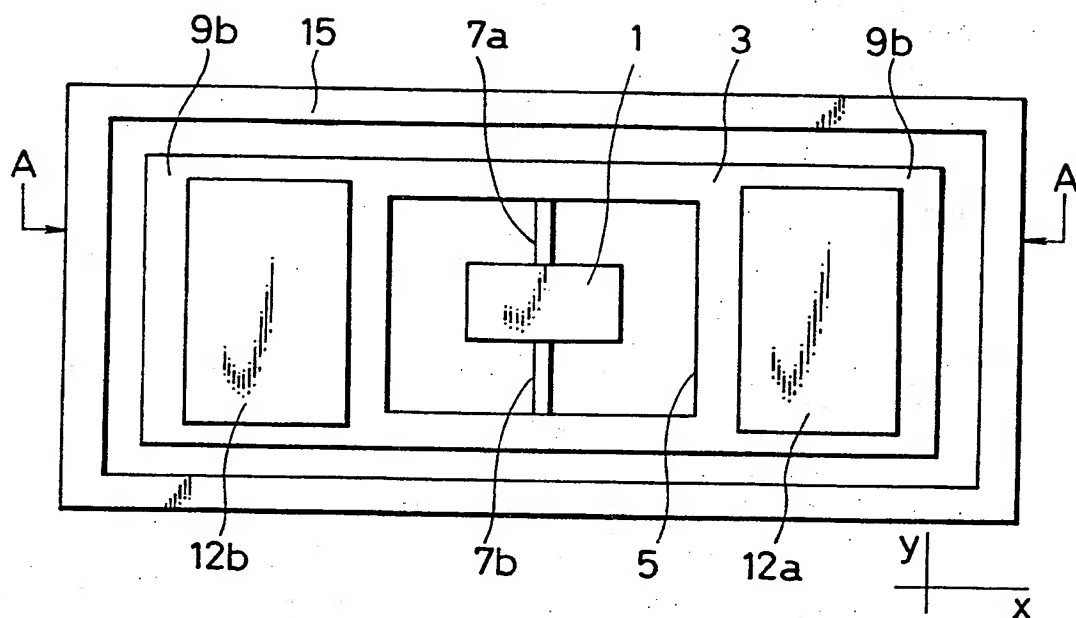


FIG. 2

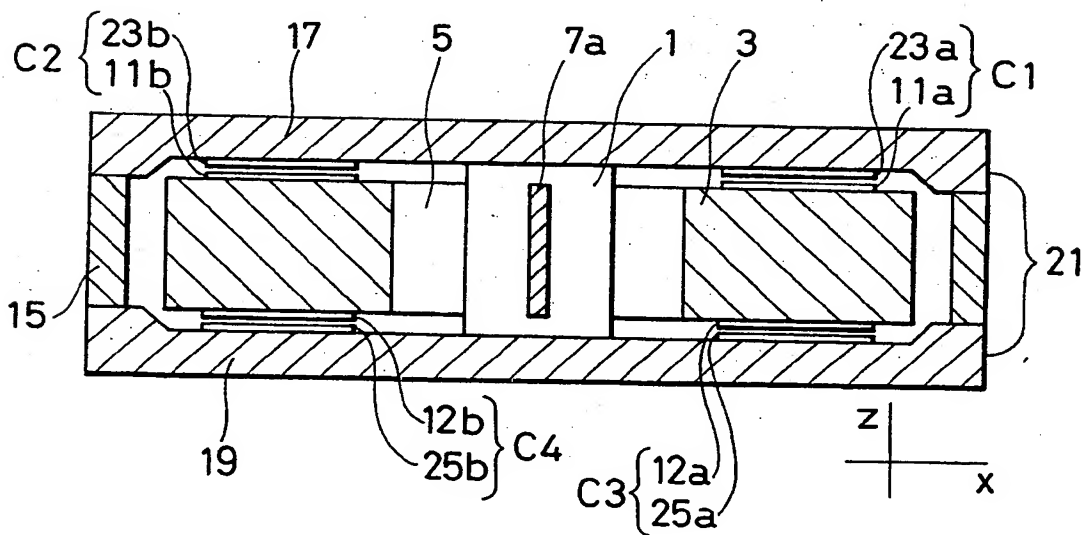


FIG. 3

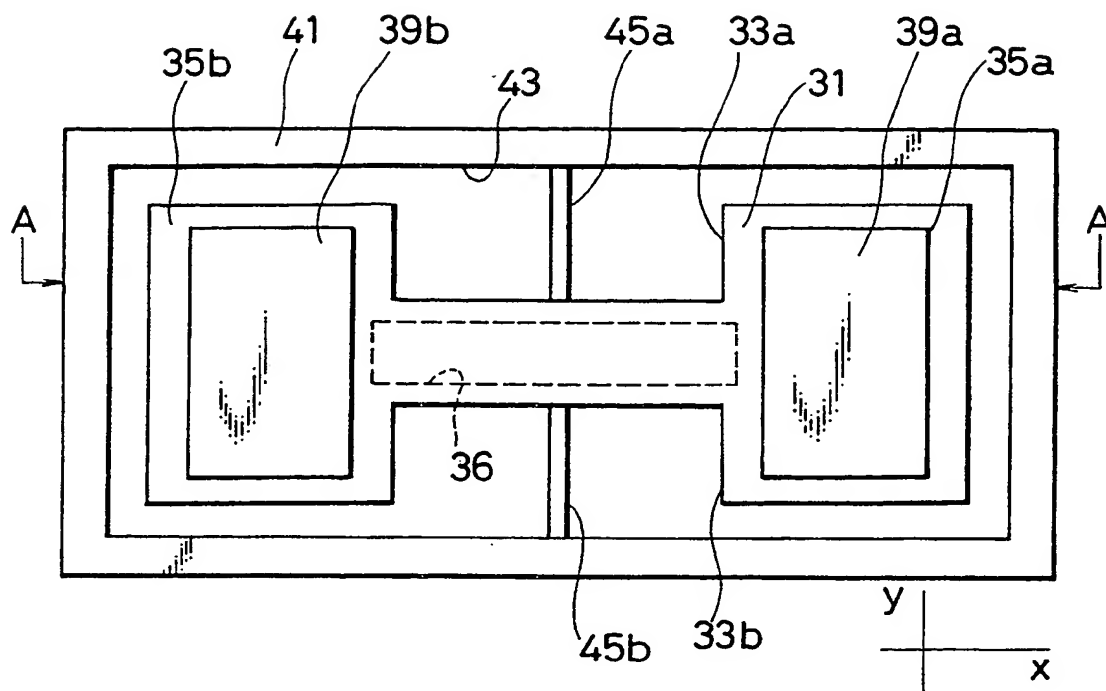


FIG. 4

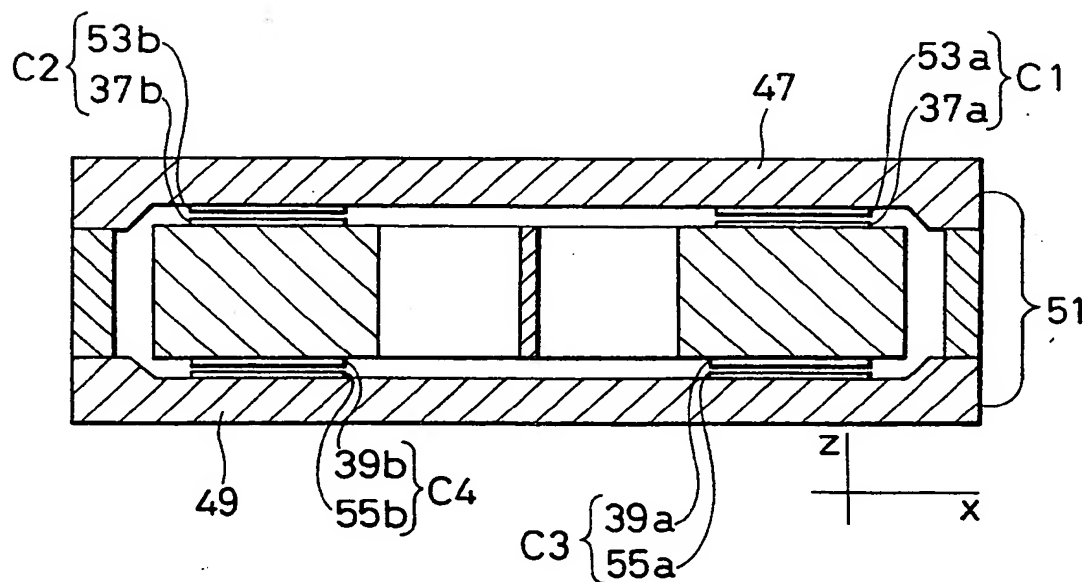




FIG. 5

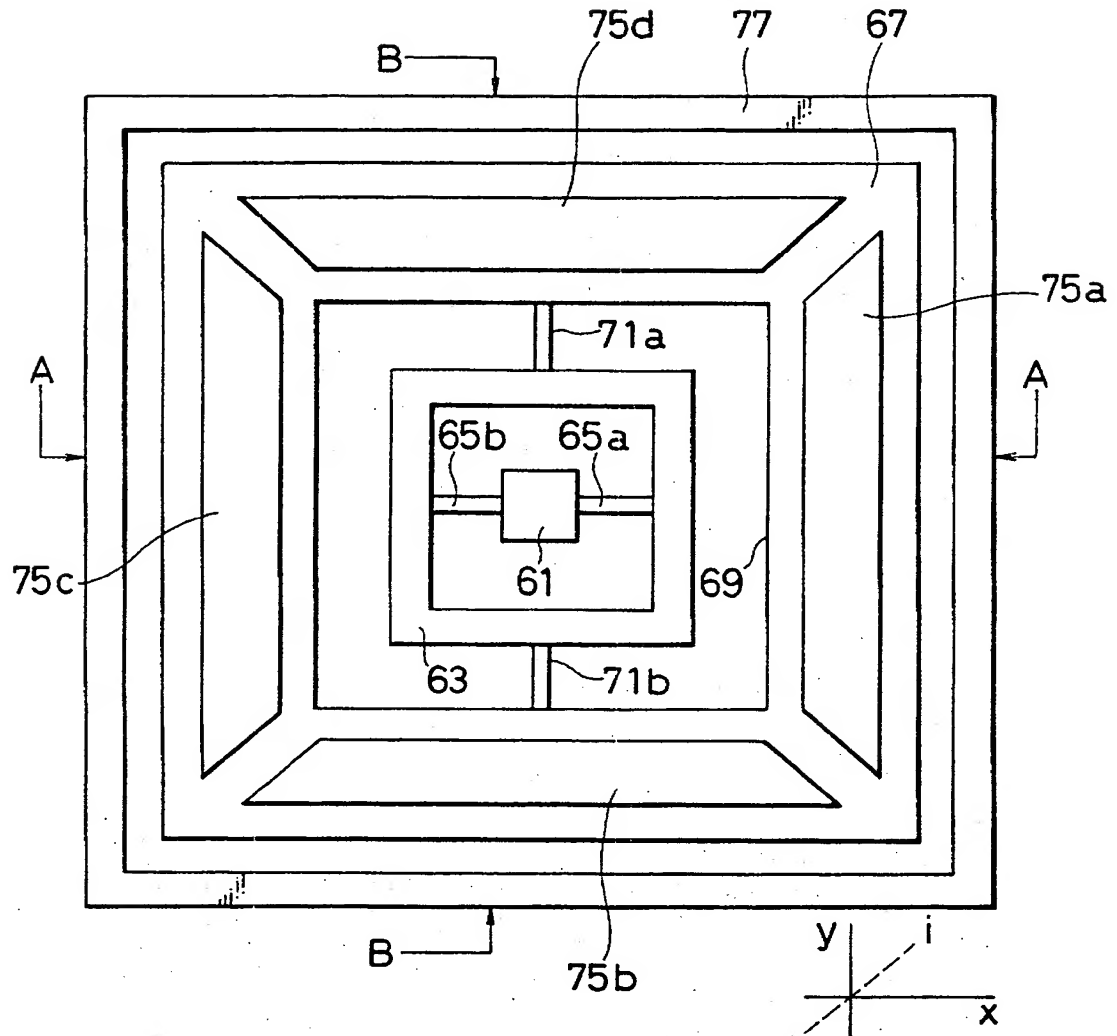


FIG. 6

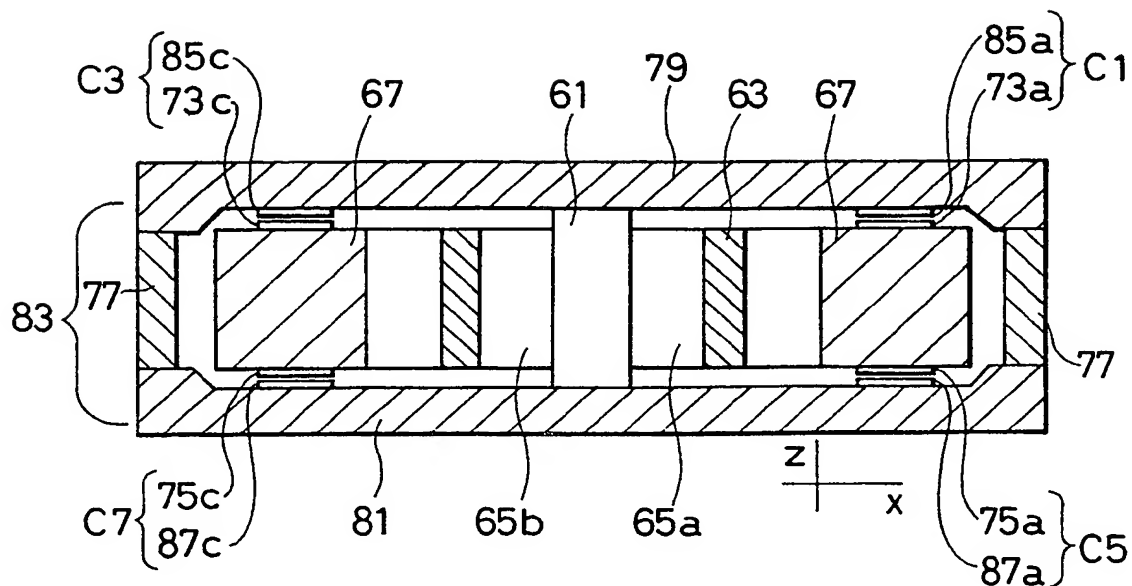


FIG. 7

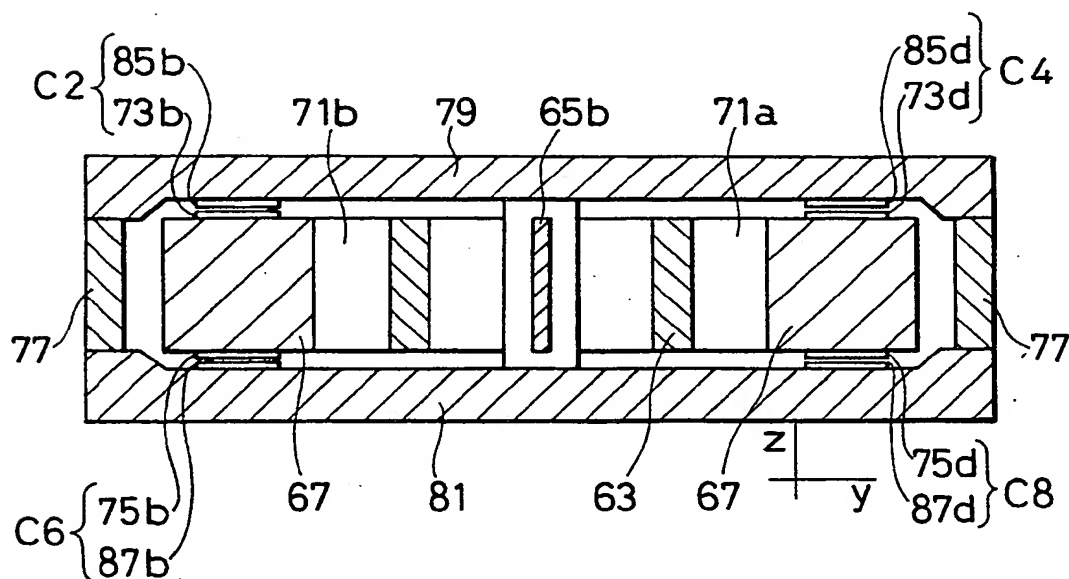


FIG. 8

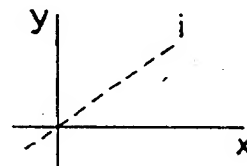
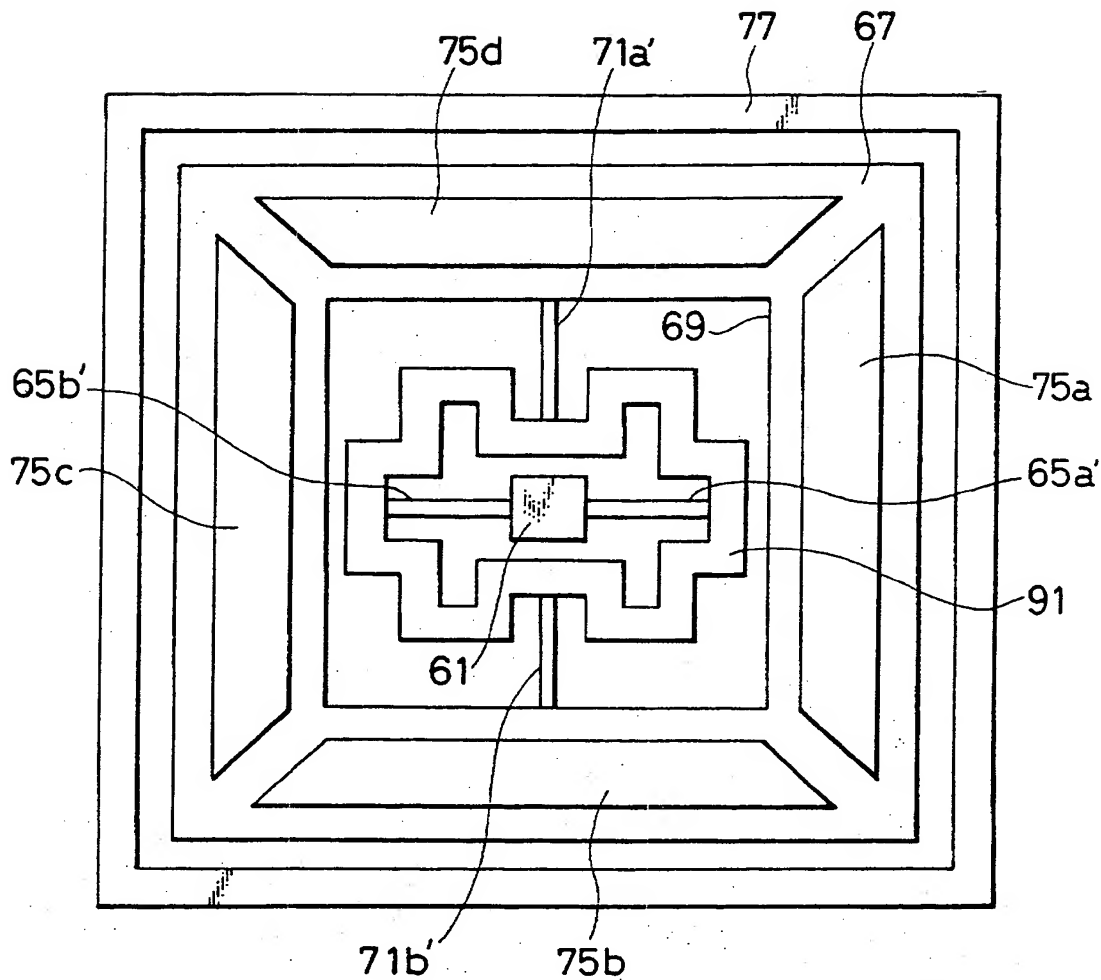


FIG. 9

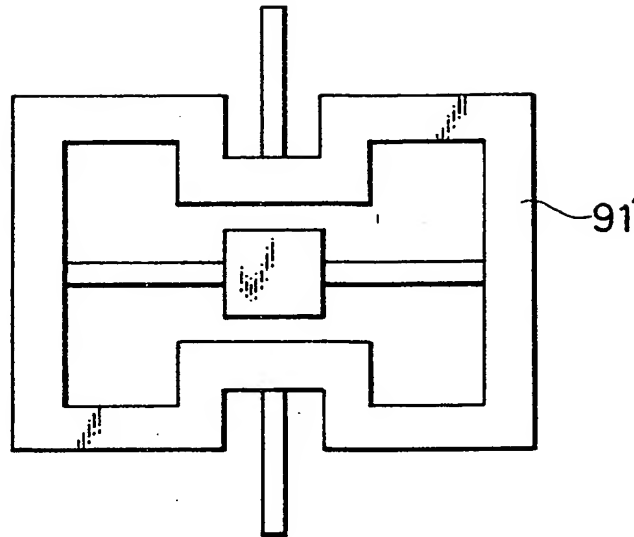


FIG. 10

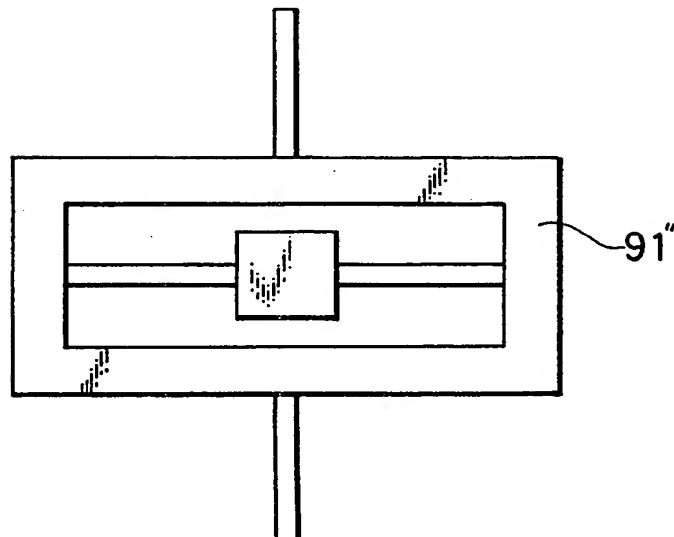


FIG.11

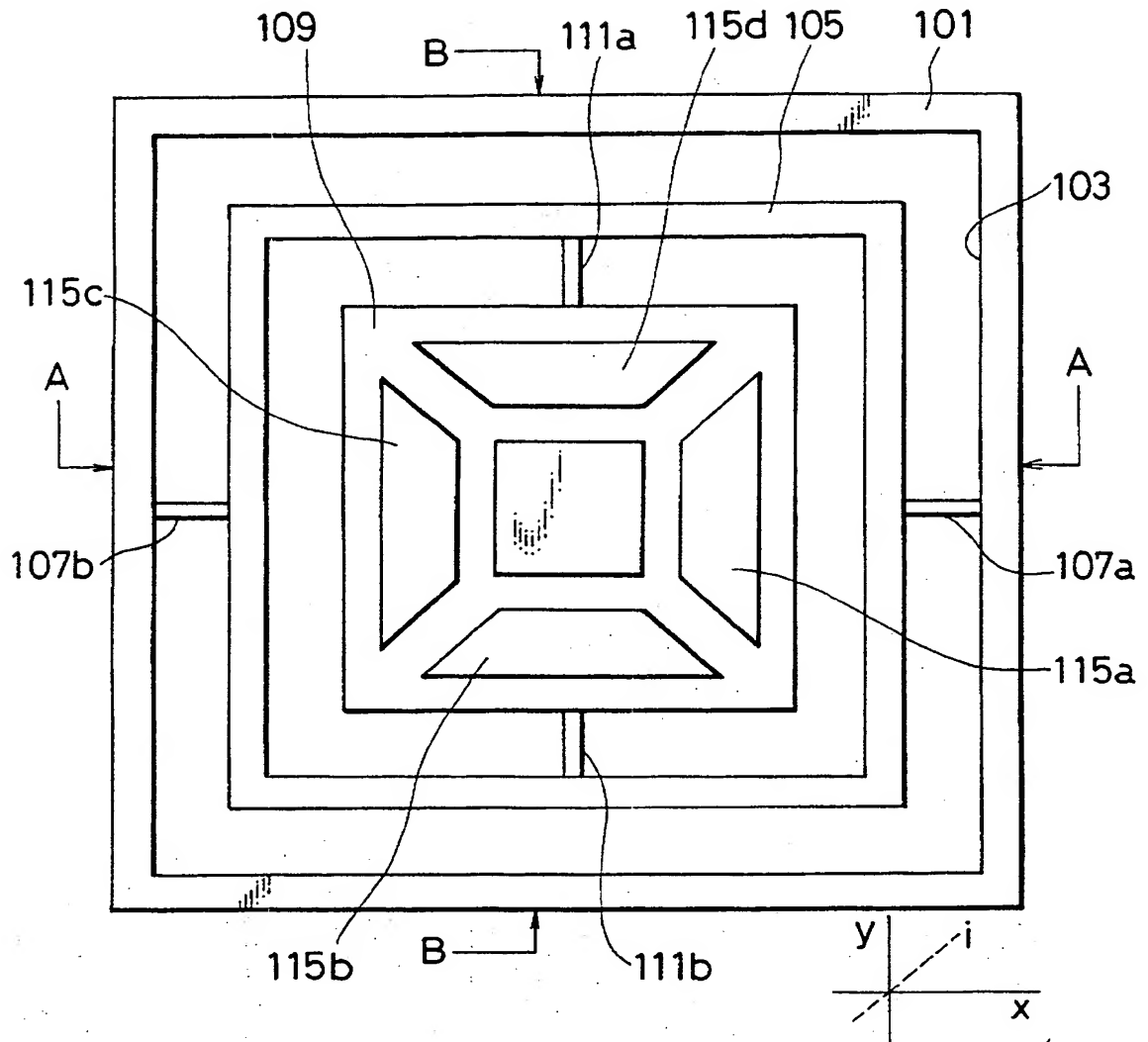




FIG.12

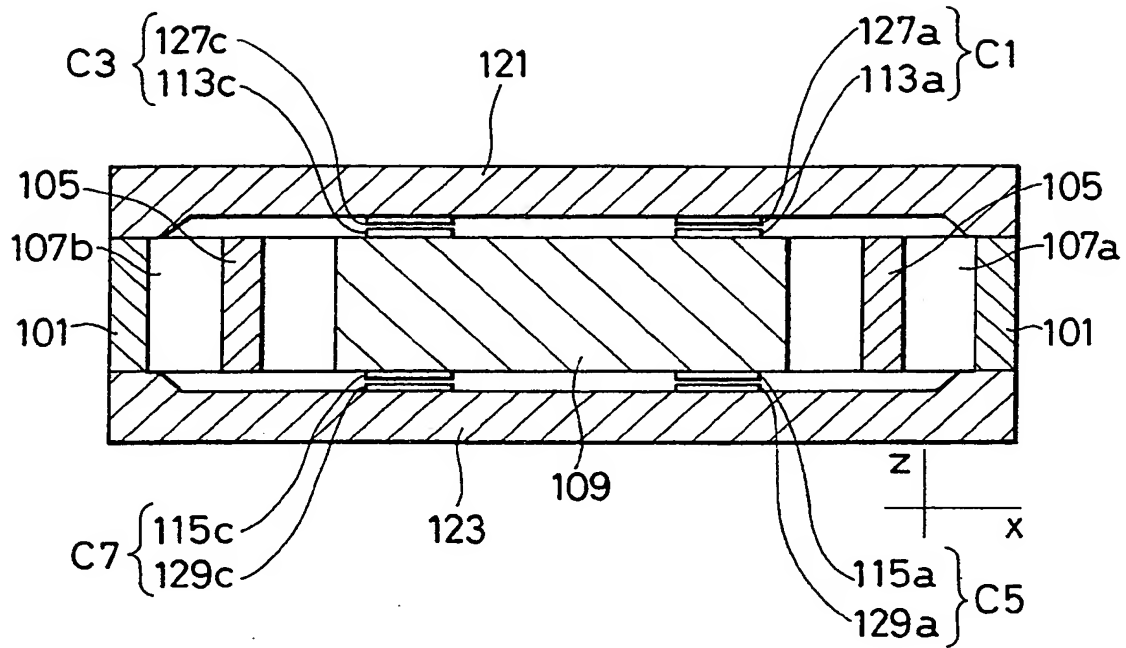


FIG.13

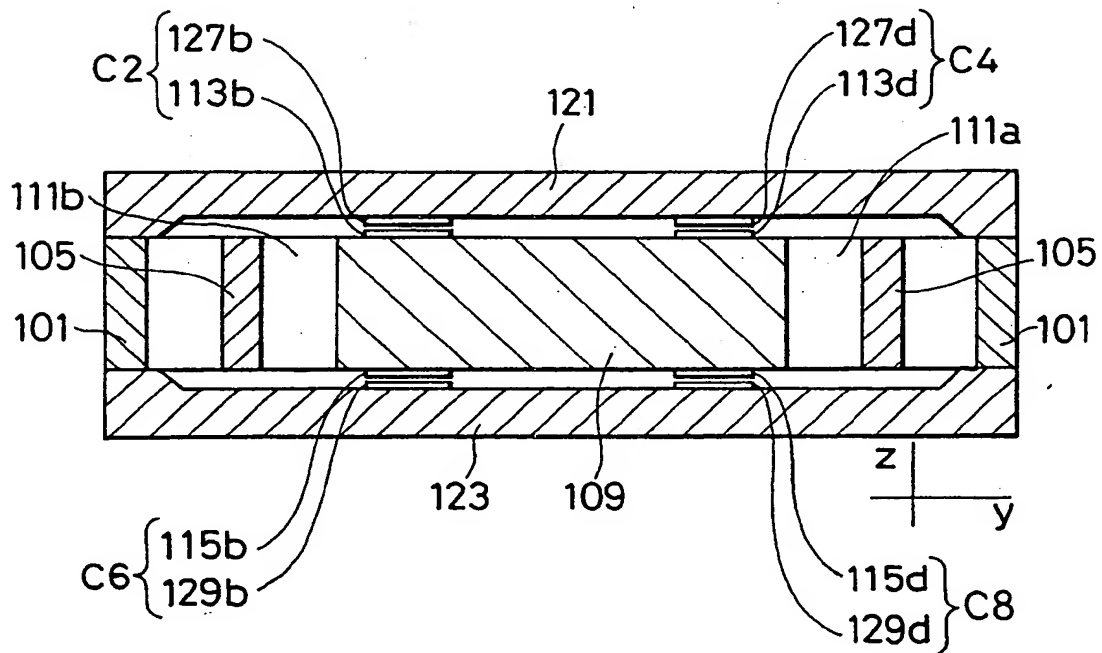


FIG.14

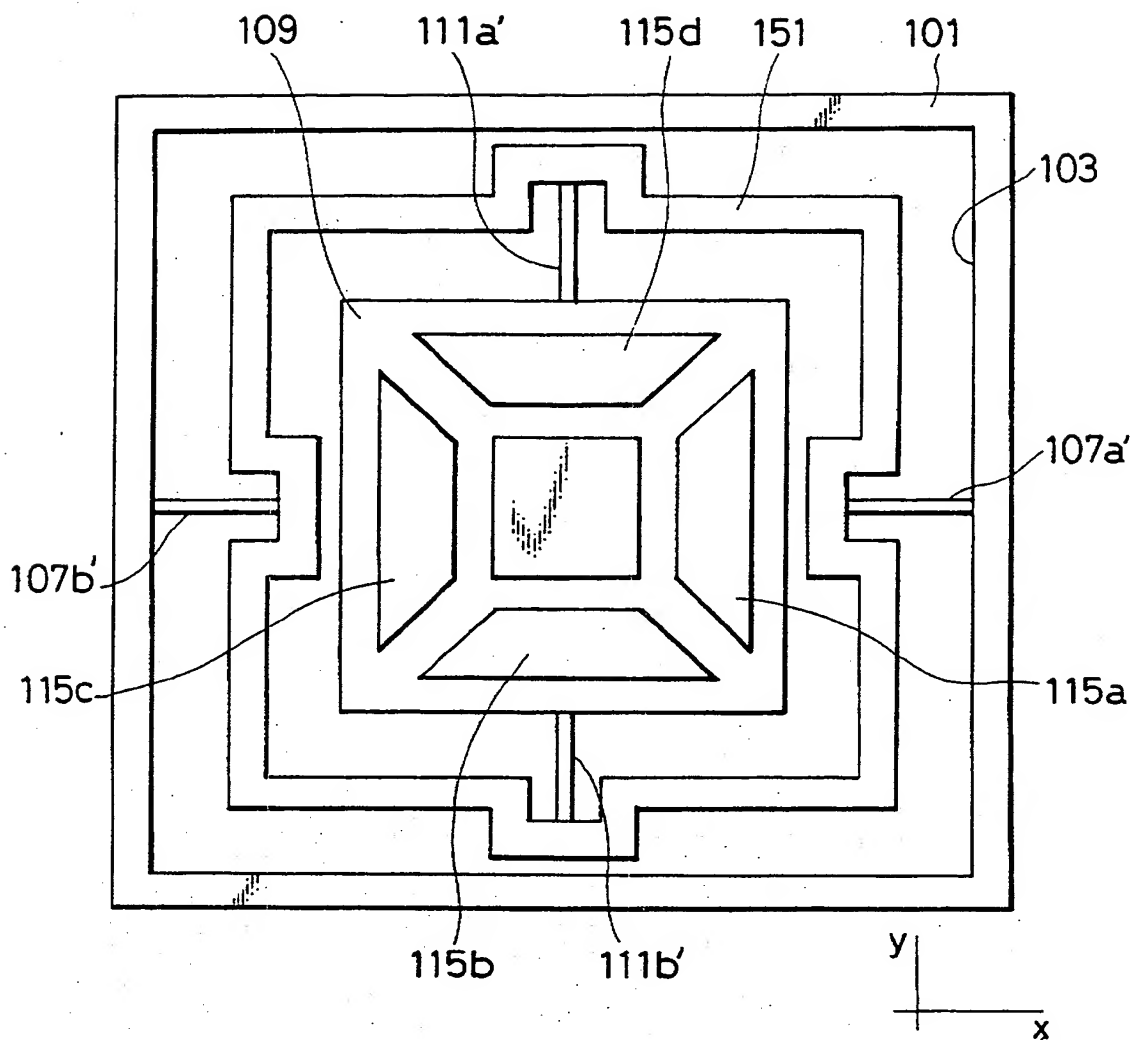
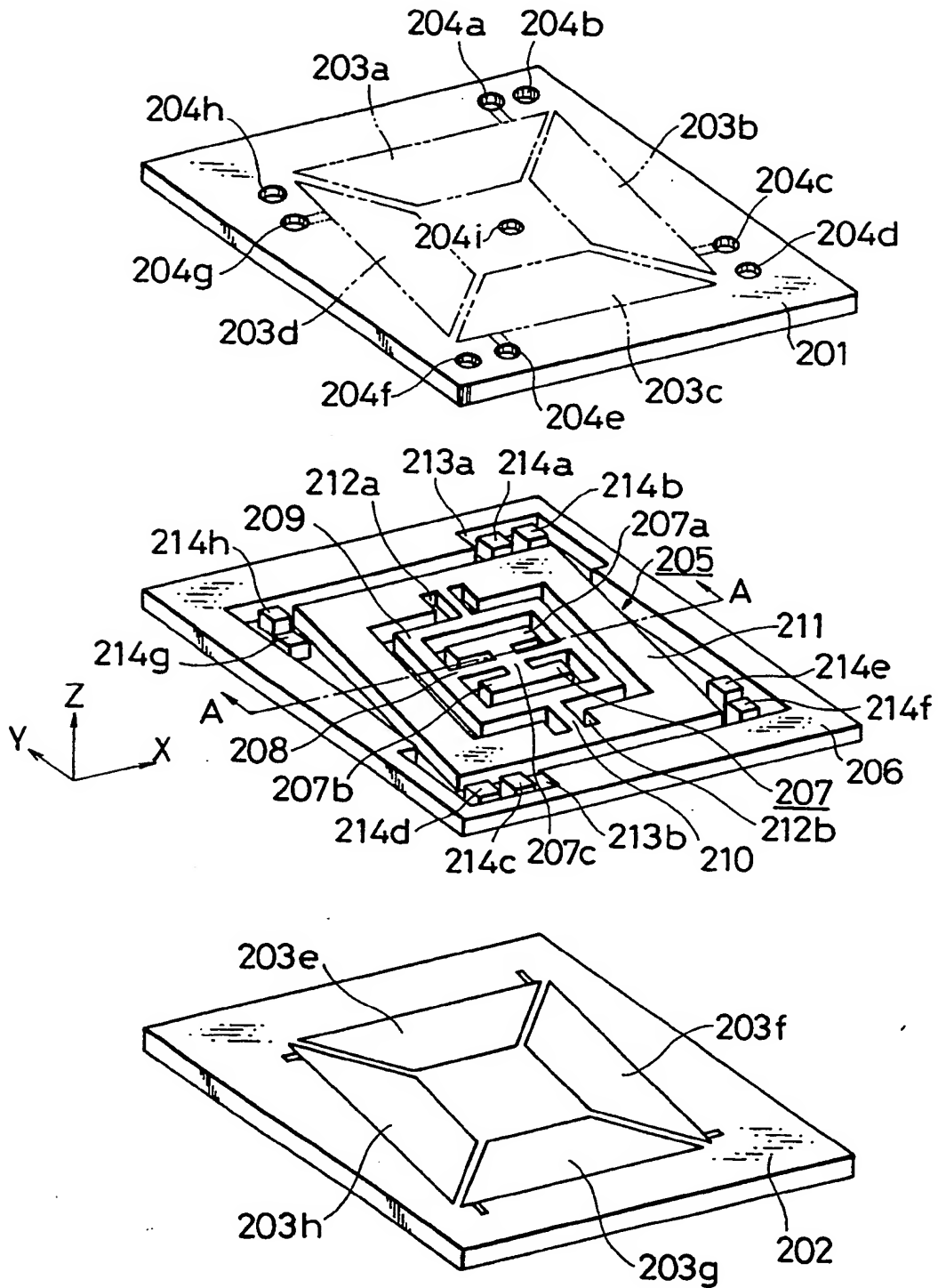
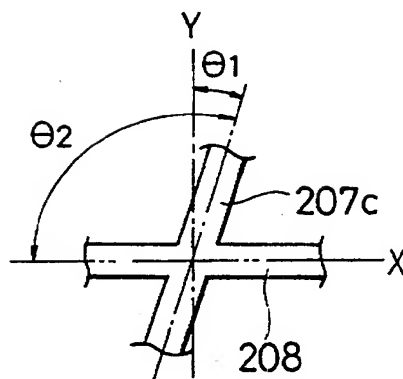


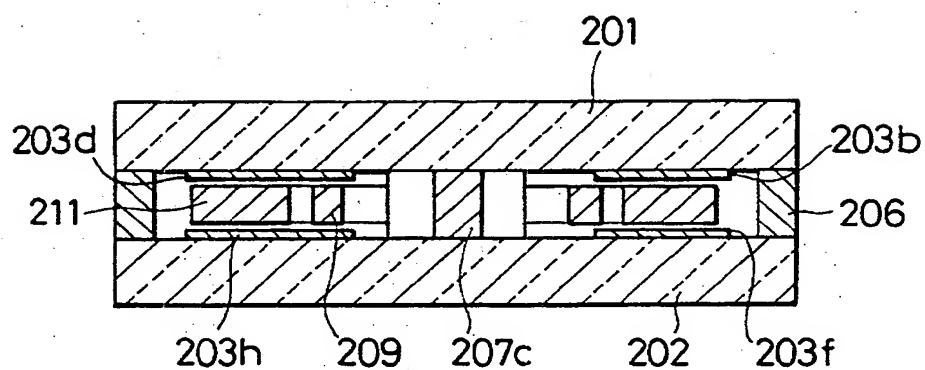
FIG.15



**FIG.16**



**FIG.17**



**FIG.18**

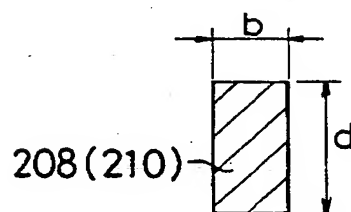


FIG.19

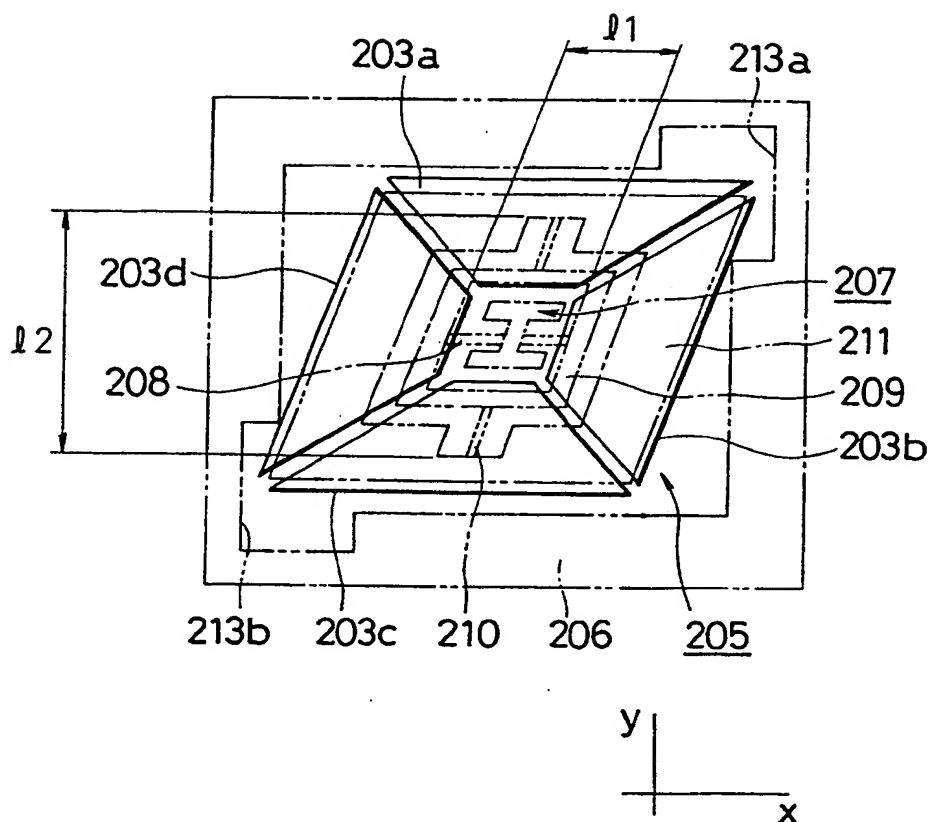


FIG.20

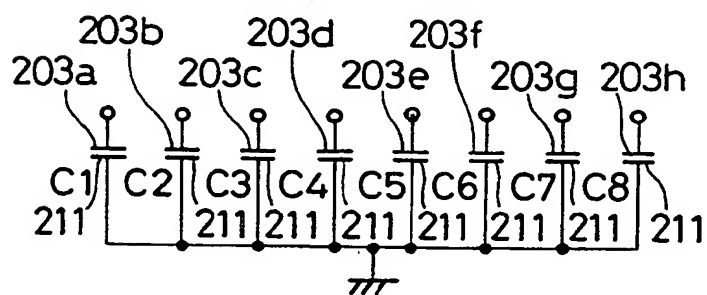




FIG.21

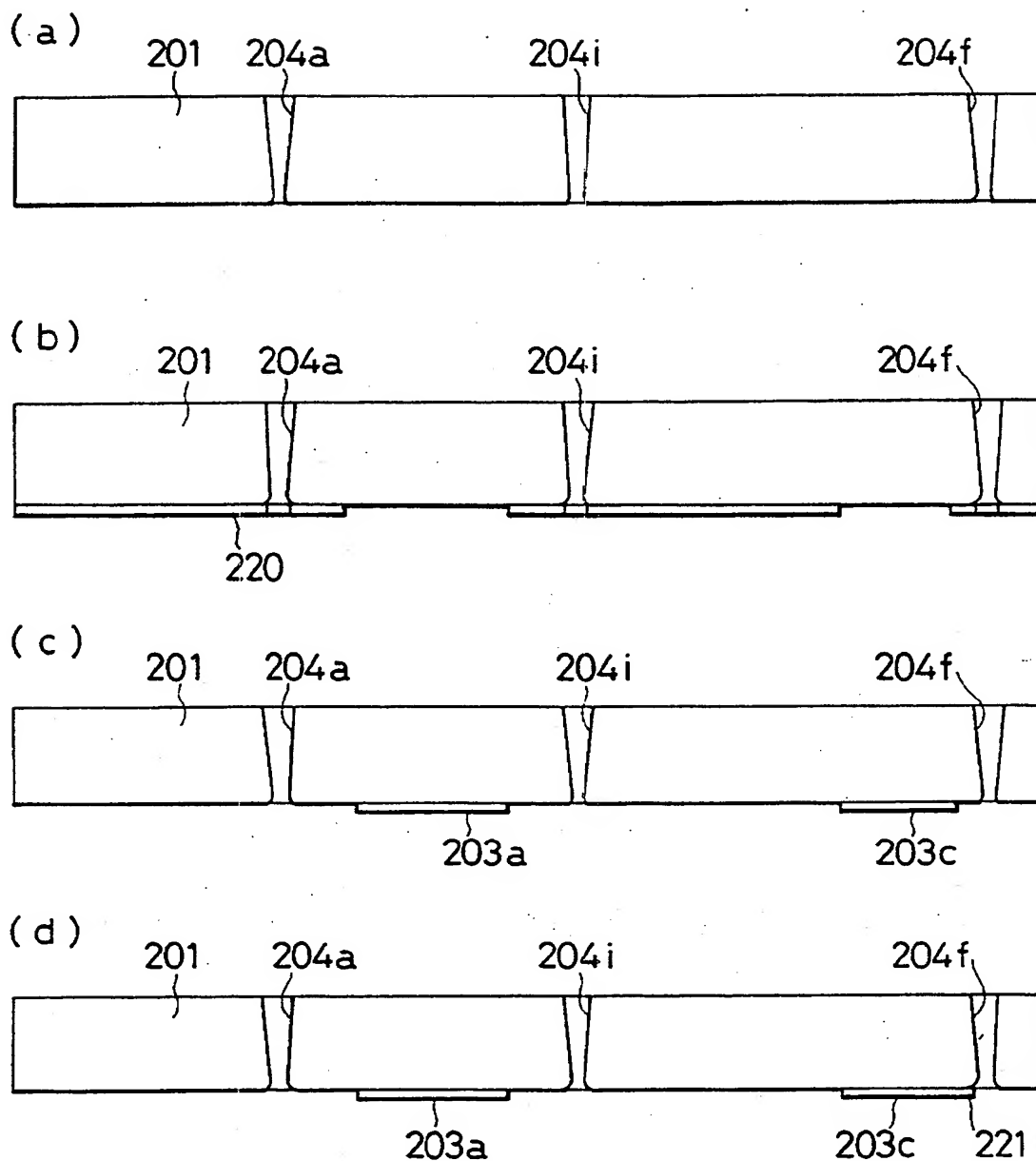


FIG.22

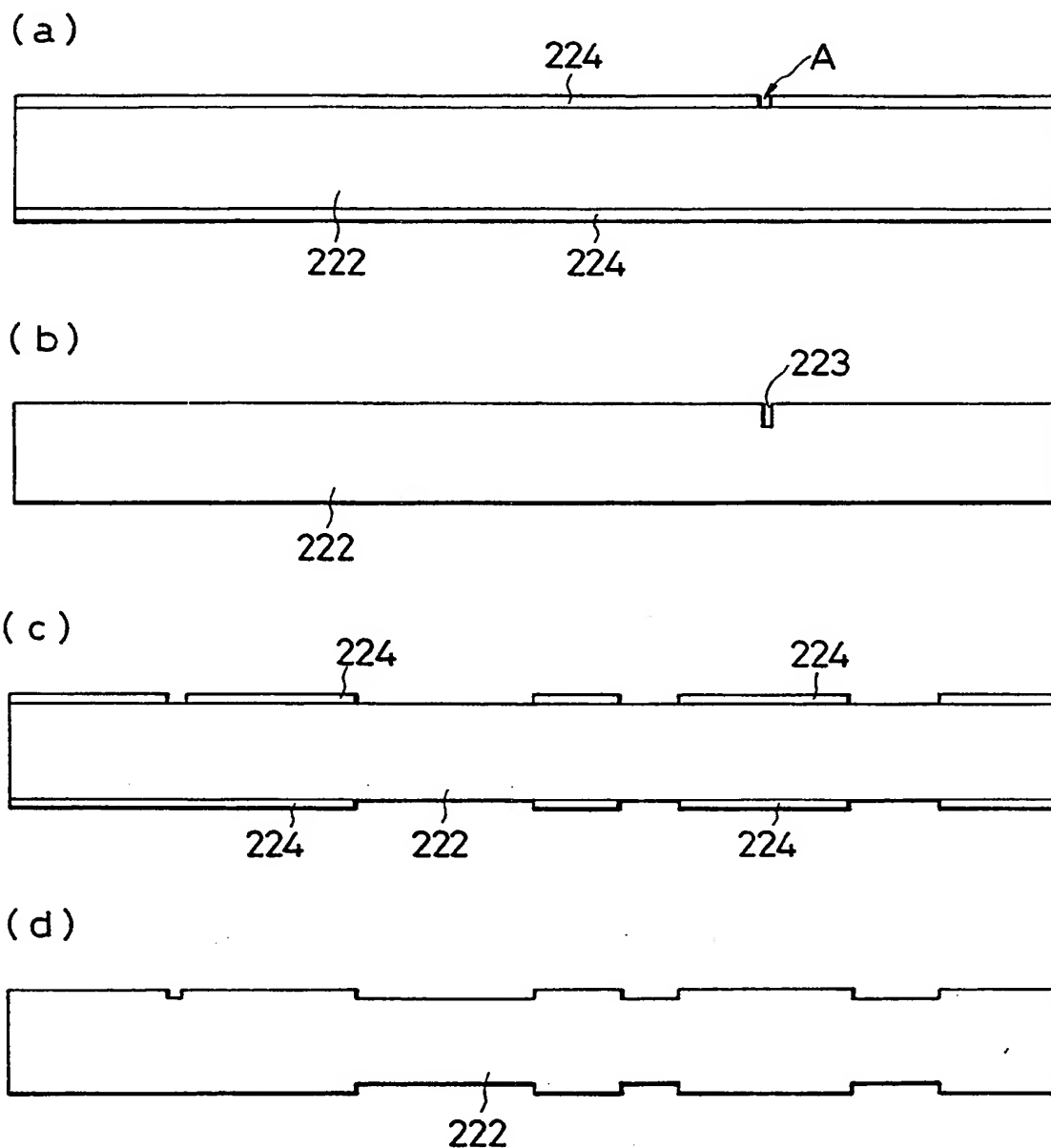


FIG.23

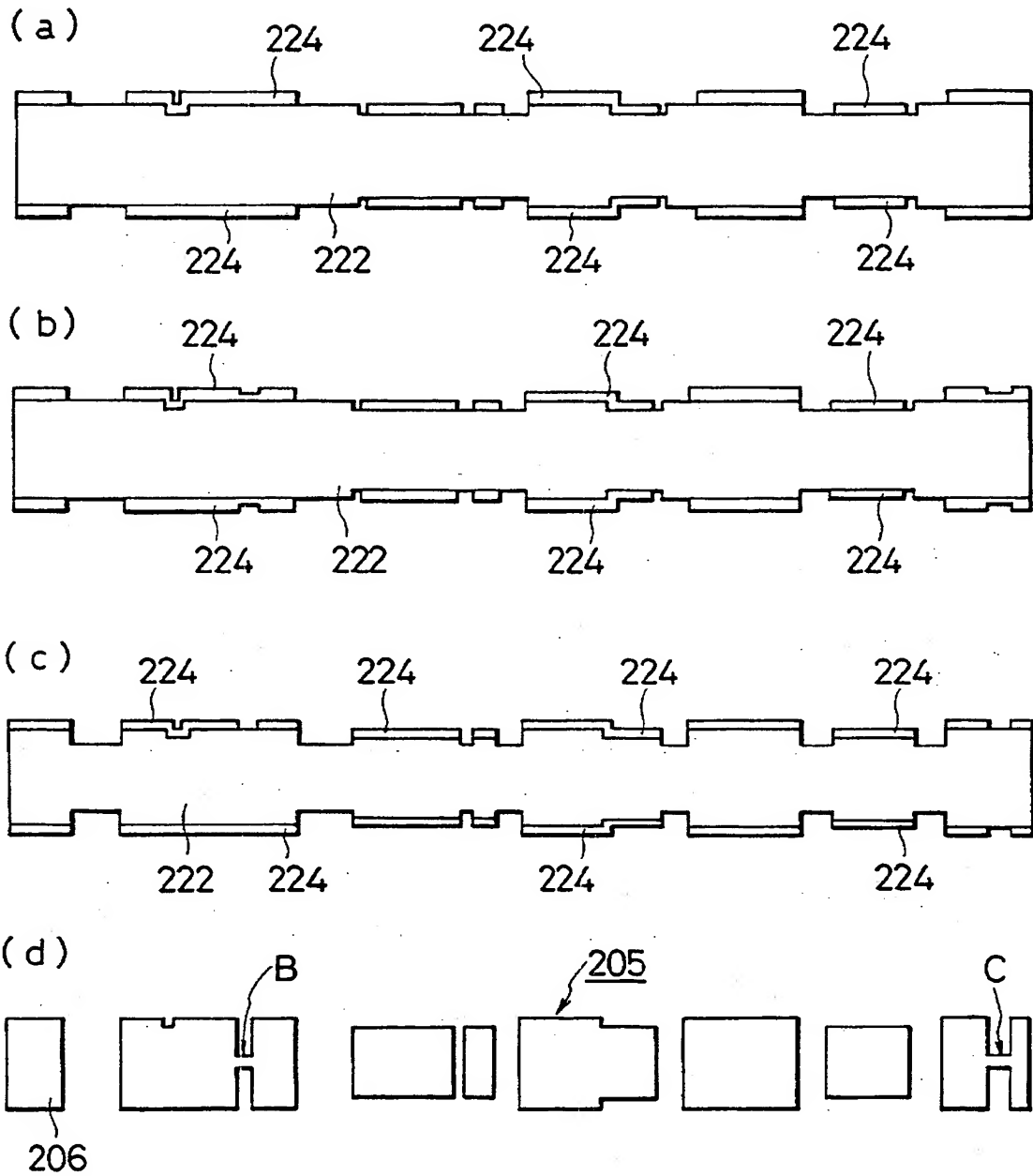


FIG. 24

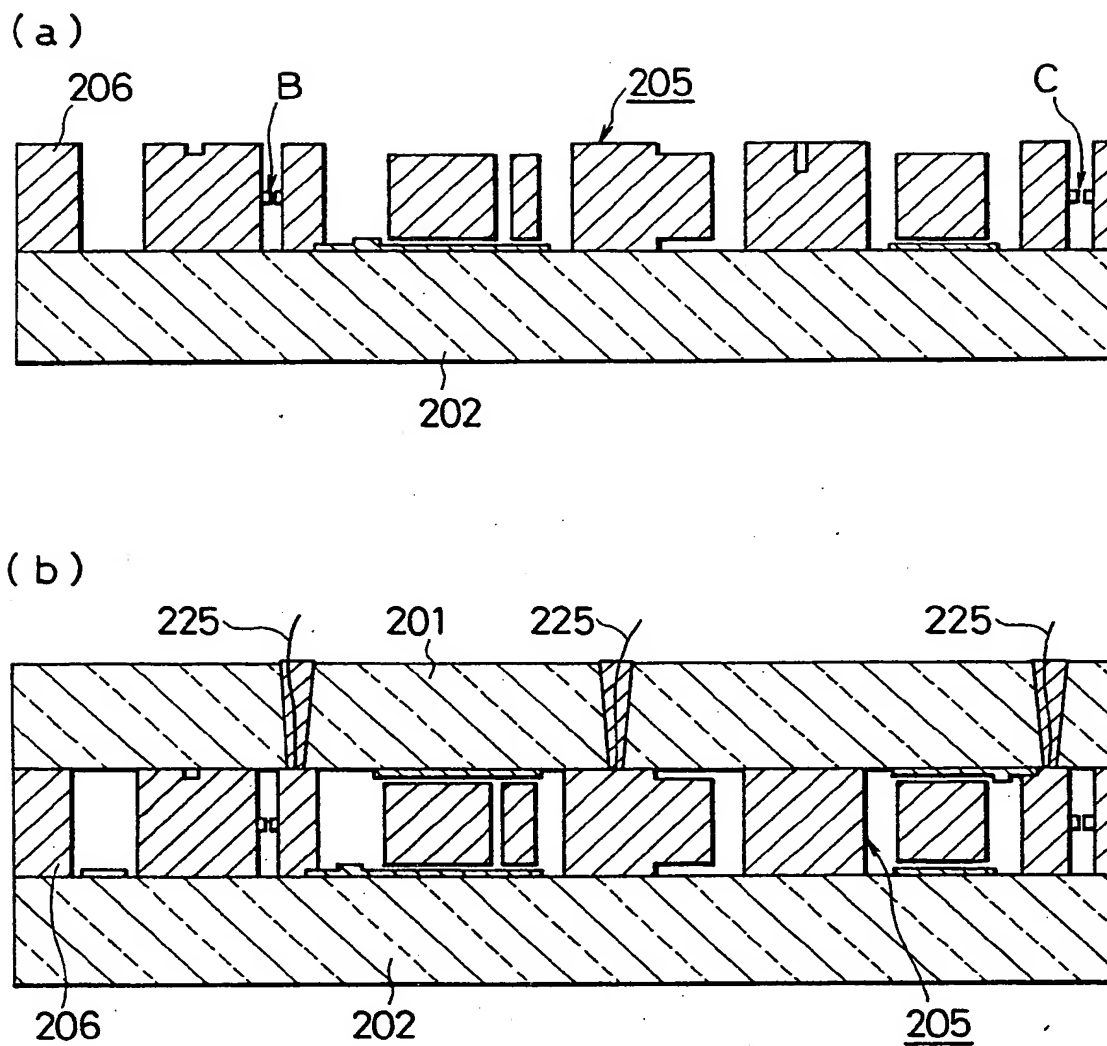


FIG.25

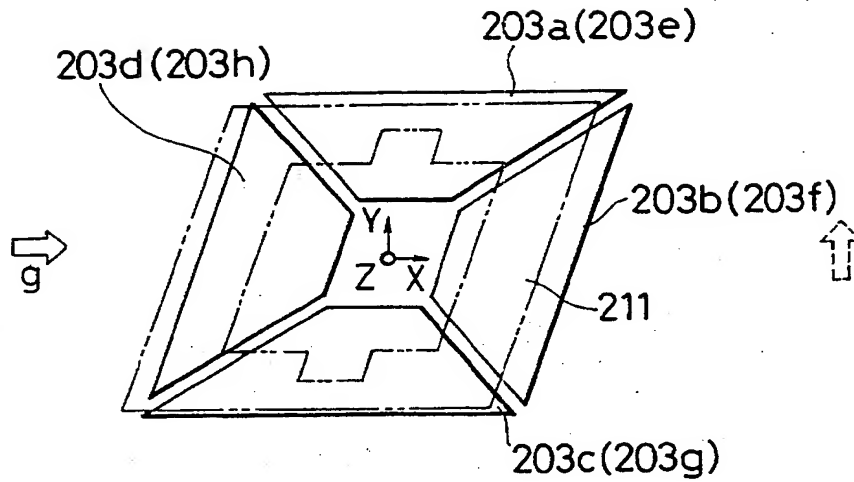


FIG.26

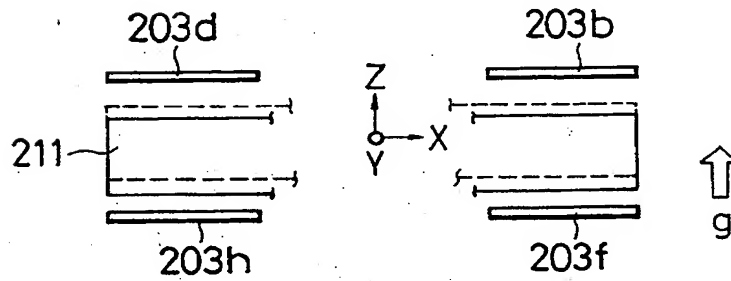


FIG.27

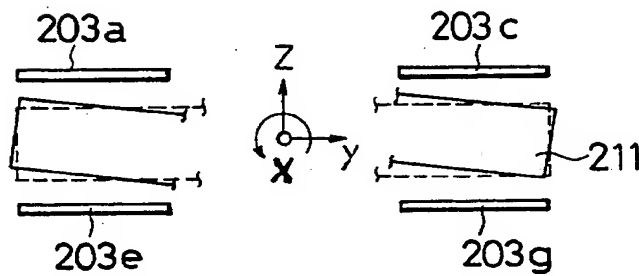




FIG.28

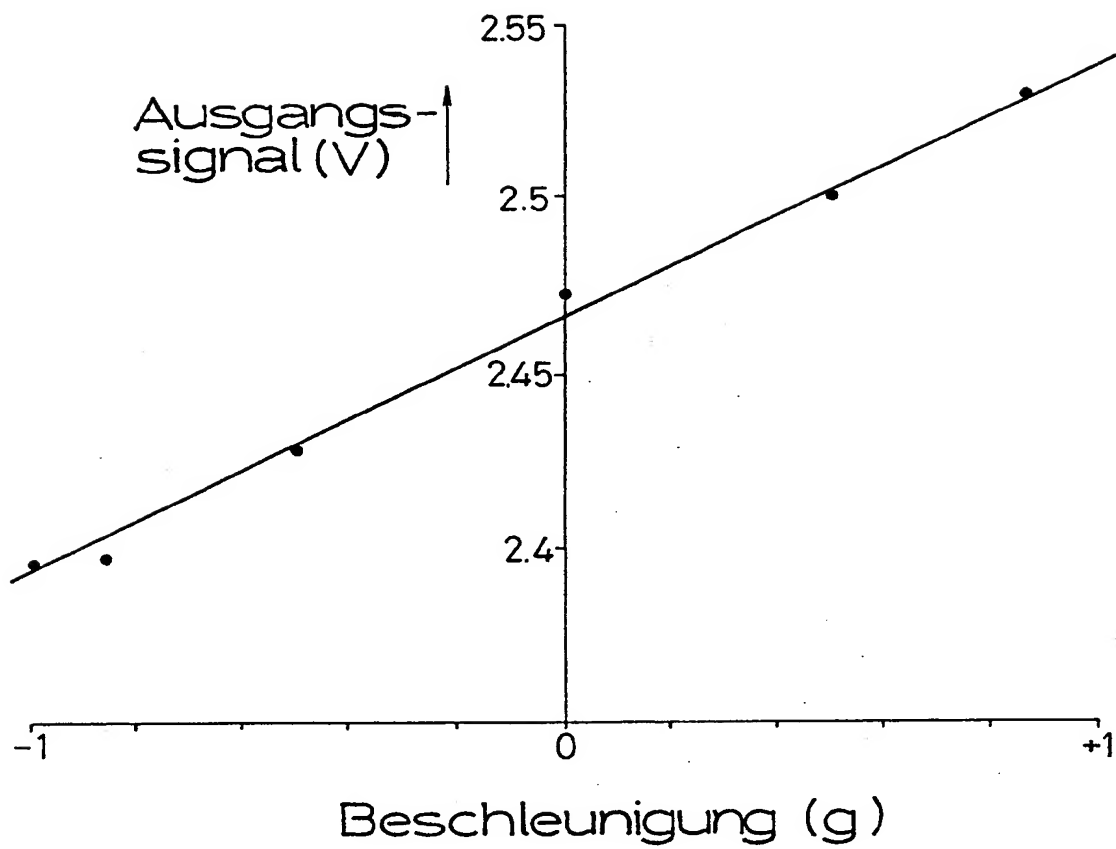


FIG.29

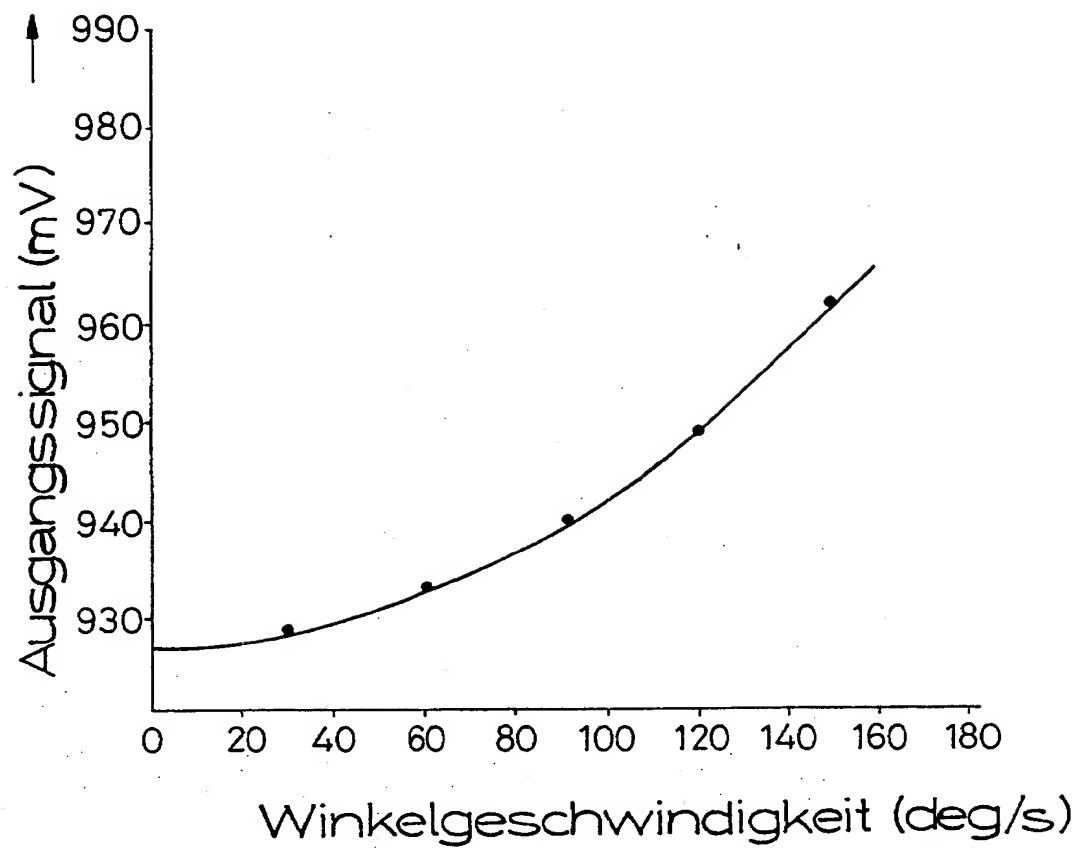


FIG.30

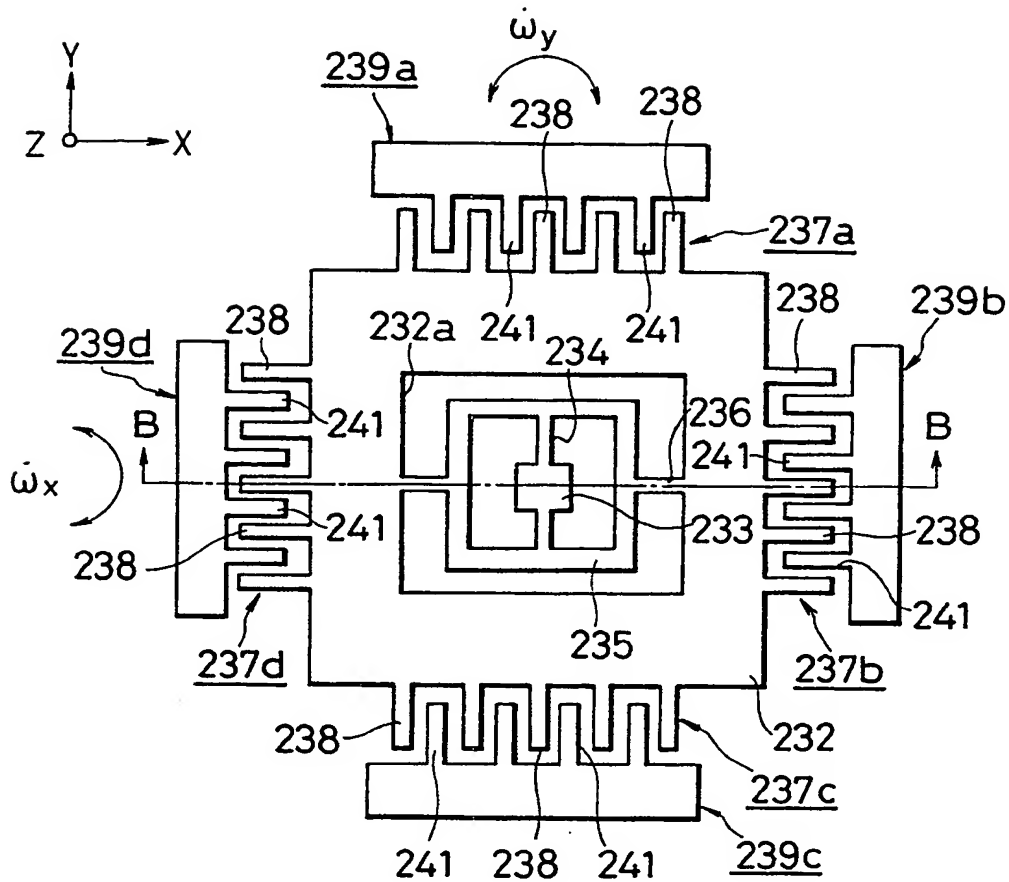


FIG.31

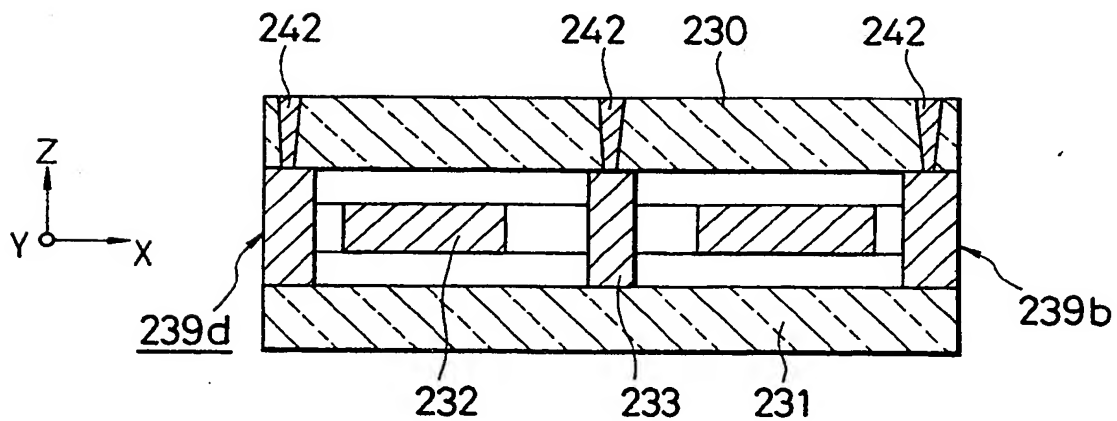


FIG.32

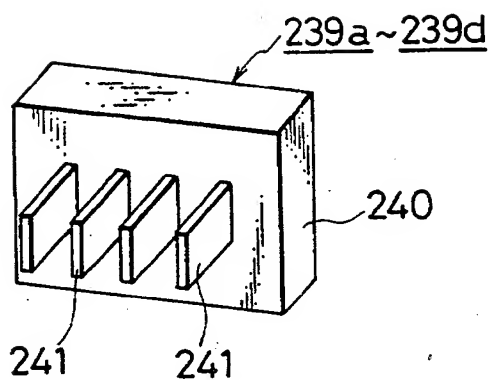


FIG.33

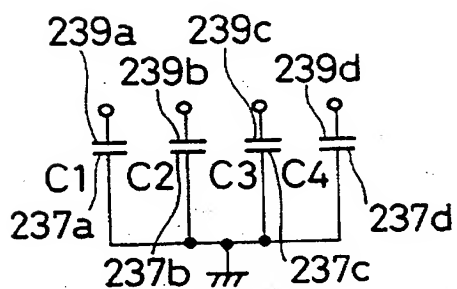


FIG. 34

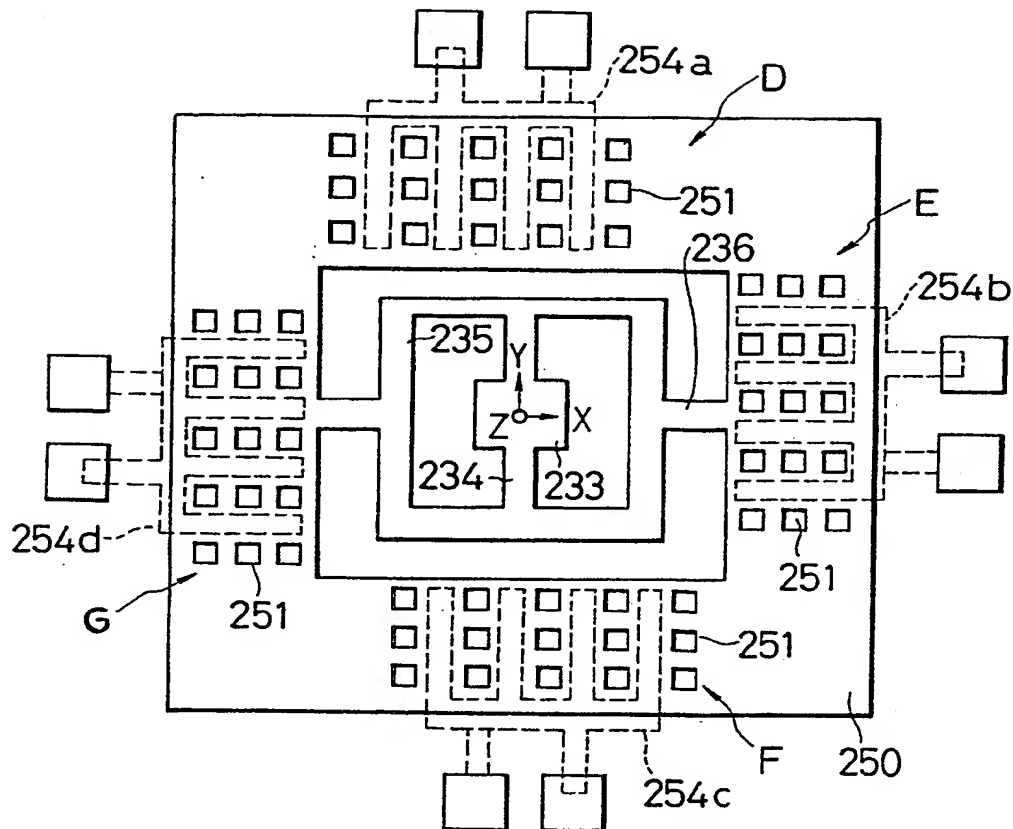


FIG. 35

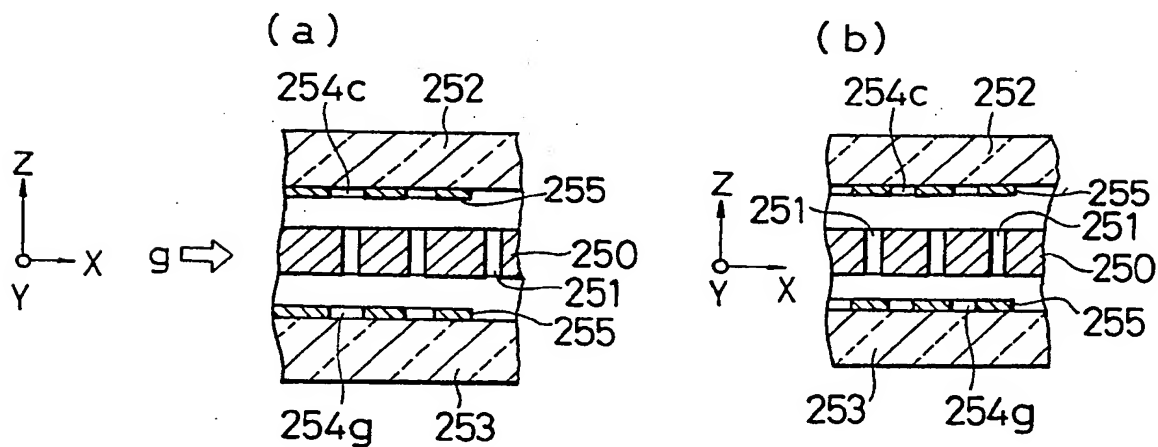


FIG. 36

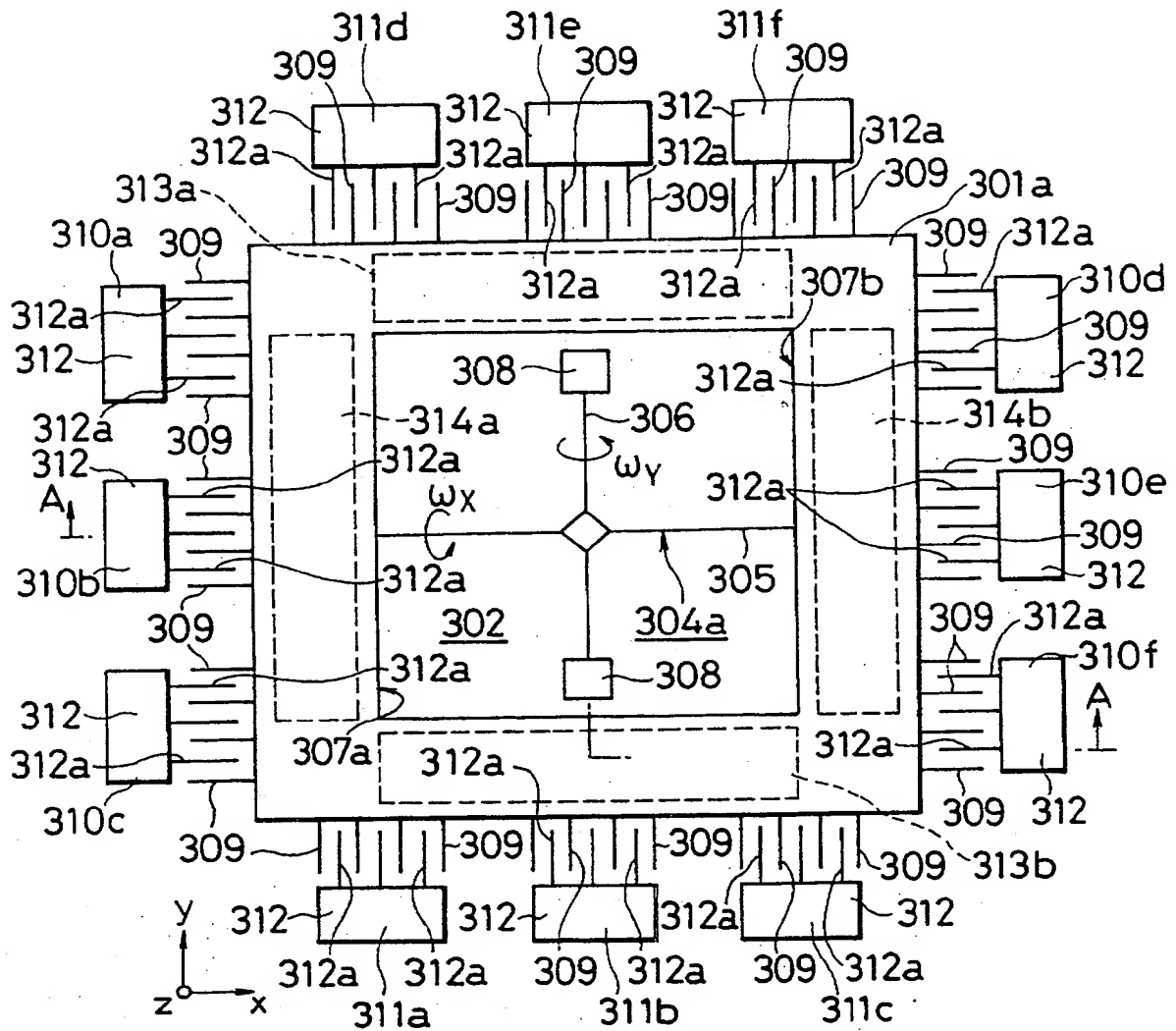


FIG.37

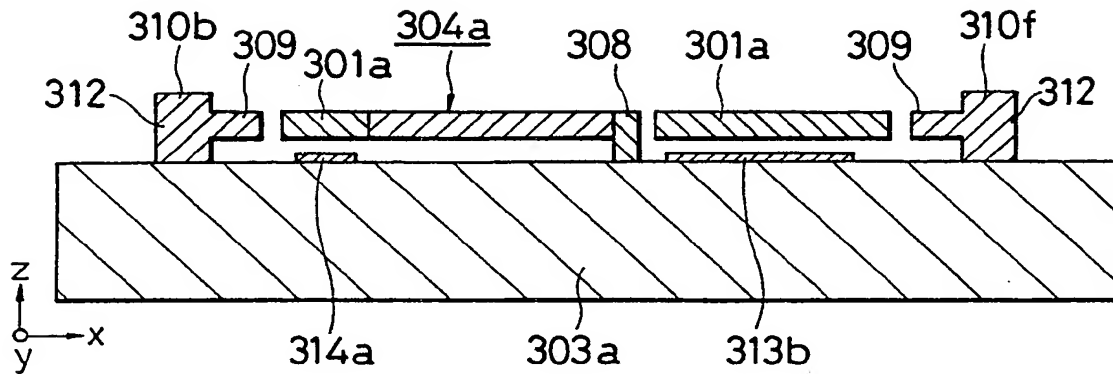


FIG.38

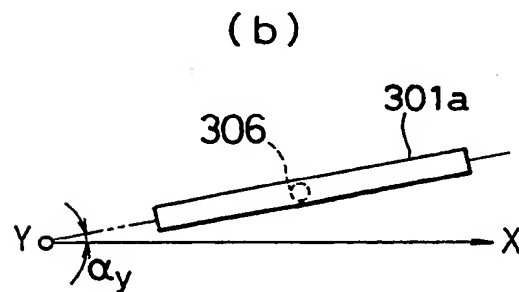
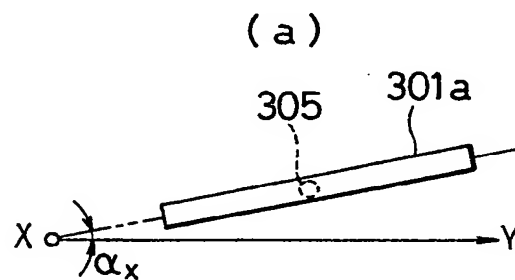




FIG. 39

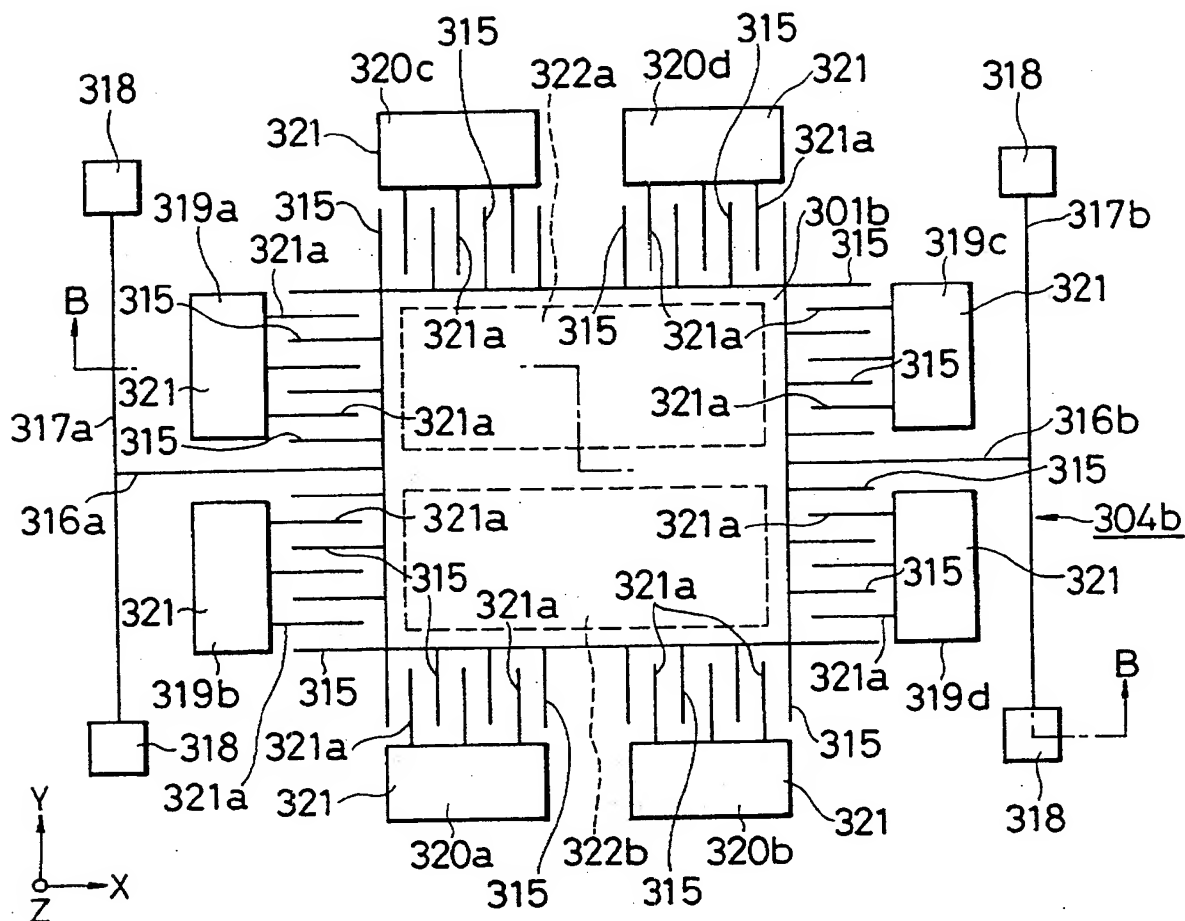


FIG. 40

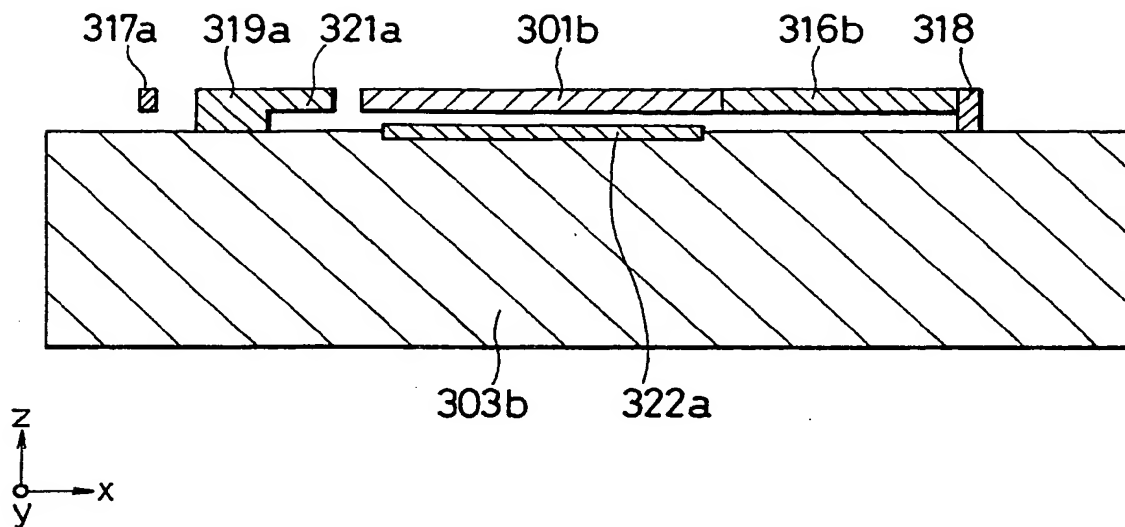
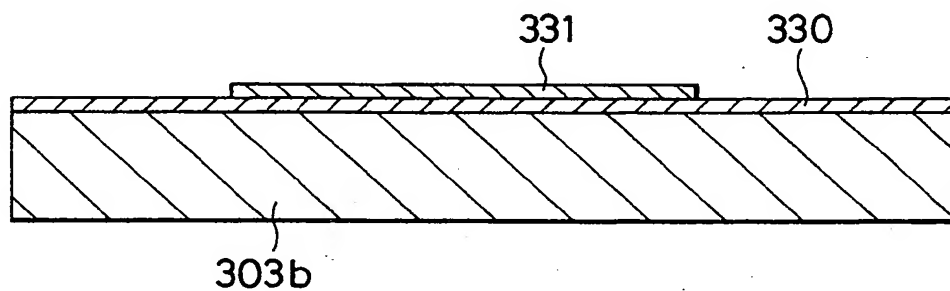


FIG. 41

(a)



(b)

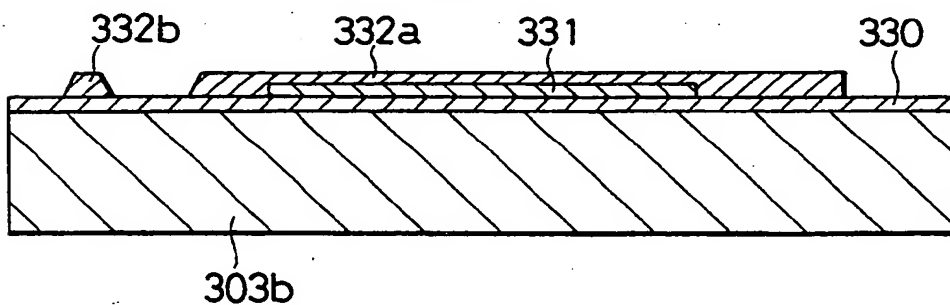
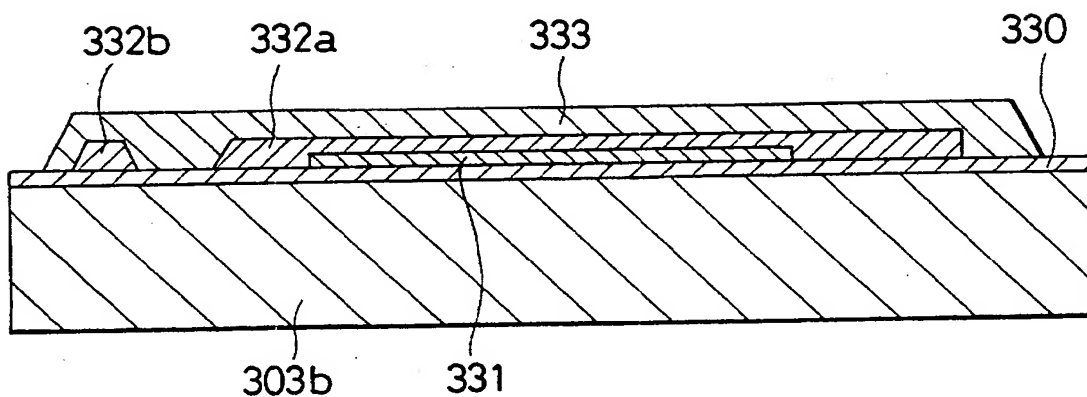


FIG.42

(a)



(b)

